

TUGAS AKHIR - MN141581

**MODIFIKASI DESAIN BENTUK BURITAN
LANDING CRAFT TANK (LCT) UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI SISTEM PROPULSI**

BAHARIKA DICKY PROBOSUSTYO
NRP. 4110 100 104

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015



FINAL PROJECT - MN141581

**DESIGN MODIFICATION OF THE STERN SHAPE OF
A LANDING CRAFT TANK (LCT) TO INCREASE
THE PROPULSION SYSTEM EFFICIENCY**

BAHARIKA DICKY PROBOSUSTYO
NRP. 4110 100 104

SUPERVISOR:
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI DESAIN BENTUK BURITAN
LANDING CRAFT TANK (LCT) UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI SISTEM PROPULSI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan - Desain Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAHARIKA DICKY PROBOSUSTYO
NRP. 4110 100 104

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D
NIP. 19601202 198701 1 001

SURABAYA, JULI 2015

LEMBAR REVISI

MODIFIKASI DESAIN BENTUK BURITAN LANDING CRAFT TANK (LCT) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI

TUGAS AKHIR

Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 2 Juli 2015

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BAHARIKA DICKY PROBOSUSTYO
NRP. 4110 100 104

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D.
2. Ir. Petrus Adrianto Dewanda, M.ASc.
3. Sri Rejeki Wahyu Pribadi, S.T., M.T.

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.



[Handwritten signature]
.....

SURABAYA, JULI 2015

Modifikasi Desain Bentuk Buritan *Landing Craft Tank* (LCT) untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi

Nama Mahasiswa : Baharika Dicky Probosustyo
NRP : 4110 100 104
Jurusan / Fakultas : Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Dalam merancang kapal yang memiliki sarat rendah, desainer kapal harus menggunakan dua *propeller* dan bentuk buritan yang langsing. Namun untuk kapal kecil, opsi ini akan mengurangi ruang kapal itu sendiri. Dibutuhkan konsep baru untuk mengatasi tantangan tersebut. Untuk meminimalisir pengurangan ruang pada buritan, namun fluida yang menuju ke *propeller* tetap optimal, maka digunakanlah konsep baru yaitu dengan menggunakan sebuah *channel* atau sering disebut dengan *tunnel stern* yang mengalirkan fluida dengan *smooth* ke *propeller* tanpa mengurangi bentuk buritan secara signifikan. Konsep ini terinspirasi dari bentuk kapal kecil (*small boat*) yang dalam performanya cukup baik. Namun belum banyak dilakukan penelitian tentang konsep ini. Di dalam Tugas Akhir ini dilakukan Modifikasi desain bentuk buritan *Landing Craft Tank* (LCT) yang sudah ada dengan menambahkan *tunnel stern* dengan bantuan perangkat lunak Maxsurf untuk membuat model dan Ansys package untuk menganalisa kecepatan aliran pada buritan kapal yang berkaitan dengan efisiensi sistem propulsi. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa desain bentuk buritan yang menggunakan *tunnel stern* dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi sebesar 4,03%.

Kata kunci: *Landing Craft Tank*, sistem propulsi, *stern shape*, *tunnel stern*.

DESIGN MODIFICATION OF THE STERN SHAPE OF A LANDING CRAFT TANK (LCT) TO INCREASE THE PROPULSION SYSTEM EFFICIENCY

Author : Baharika Dicky Probosustyo
ID No. : 4110 100 104
Dept. / Faculty : Naval Architecture & Shipbuilding Engineering / Marine Technology
Supervisors : Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

In low draft design, a naval architect need to use twin screw design and small stern shape. Nevertheless implementation of this design leads to confined space in relatively small ship. To solve this challenge, new solution is needed. In order to provide adequate space to instal suitable size of propeller for each engine on board, this new concept using tunnel stern that allows current flow smoothly into each of propeller without reducing stern shape space. This concept is inspired from small boat with good performance because tunnel stern. However, haven't a lot of researchs about this yet. In this final project will modify the stern shape of Landing Craft Tank (LCT) with tunnel stern. This study focus on improving propulsion system efficiency by analyzing the flow velocity at the stern of ship. Maxsurf and Ansys Package software is performed to modelling and determine the velocity of advance. Base on the result of simulation, the new design that applied tunnel stern can improve propulsion system efficiency up to 4.03%.

Keywords: Landing Craft Tank (LCT), propulsion system, stern shape, tunnel stern.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin. Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya Tugas Akhir yang berjudul “**Modifikasi Desain Bentuk Buritan *Landing Craft Tank* (LCT) untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi**” ini dapat selesai dengan baik. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita menuju kehidupan yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi motivasi selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Totok Yulianto, S.T., M.T., selaku Dosen Wali penulis selama menjalani masa perkuliahan di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS.
3. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Kedua orang tua penulis, Almarhum Ayahanda Pardjanto, dan Ibunda Sriyati yang telah memberikan segalanya untuk penulis.
5. Mas Afrizal Davit Yulianto dan Chindy Januarti Nurrohmah yang selalu menjadi motivator penulis.
6. Mas Martadinata Tandun, S.T., yang telah banyak membantu dan bersedia menjadi rekan diskusi penulis.
7. Teman-teman P-50 (CAPTAIN) yang menjadi keluarga kedua bagi penulis selama di Surabaya.
8. Teman-teman kontrakan JTC14, M. Idam Yon Arif, M. Yasir, Ozzy Doni Kresnantoro, Moh. Adi Muflihun, Choirul Oto Cahya Nugraha, M. Syaiful Jihad A., Akmal Lazuardi, dan Ricky Fadhillah S. yang selalu menemani dan menghibur selama mengerjakan.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 16 Juni 2015

Baharika Dicky Probosustyo

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR REVISI.....	vii
HALAMAN PERUNTUKAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
Bab I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang Masalah.....	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Batasan Masalah	2
I.4. Tujuan	3
I.5. Manfaat	3
I.6. Hipotesis.....	3
I.7. Sistematika Penulisan	3
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1. Pendahuluan	7
II.2. Landing Craft Tank (LCT).....	7
II.3. Fenomena Aliran Air di Belakang Kapal.....	9
II.3.1. <i>Velocity of Advance (Va)</i> dan <i>Wake (w)</i>	9
II.3.2. Efisiensi Sistem Propulsi	10
II.4. <i>Tunnel Stern</i>	12
II.5. CFD (Computational Fluid Dynamics).....	14
II.5.1. Metode Penyelesaian	17
II.5.2. <i>Software</i>	18
Bab III METODOLOGI PENELITIAN	23
III.1. Pendahuluan.....	23
III.2. Diagram Alir	23
III.3. Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik	27
Bab IV PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI	29
IV.1. Pendahuluan.....	29
IV.2. Pembuatan Model Kapal	29
IV.2.1. Model Lambung Kapal.....	29
IV.2.2. Model <i>Tunnel Stern</i>	32
IV.3. Simulasi dengan <i>Software Ansys Package</i>	34
IV.3.1. Pemberian <i>Boundary</i> dan <i>Meshing</i> pada Model.....	34
IV.3.2. <i>Pre-Processor</i>	38
IV.3.3. <i>Solver Manager</i>	40
IV.3.4. <i>Post Processor</i>	41
IV.4. Proses Validasi.....	43
Bab V HASIL SIMULASI MODEL	47

V.1. Pendahuluan	47
V.2. Model Kapal <i>Existing</i>	47
V.2.1. Umum.....	47
V.2.2. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=2.06$ m/s.....	48
V.2.3. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=3.09$ m/s.....	49
V.2.4. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=4.12$ m/s.....	50
V.2.5. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=5.14$ m/s.....	51
V.3. Model Kapal + <i>Tunnel stern</i>	52
V.3.1. Umum.....	52
V.3.2. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=2.06$ m/s.....	52
V.3.3. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=3.09$ m/s.....	53
V.3.4. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=4.12$ m/s.....	54
V.3.5. <i>Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4</i> , dengan $V_s=5.14$ m/s.....	55
V.4. Perbandingan Model Kapal <i>Existing</i> dengan Kapal + <i>Tunnel stern</i>	56
V.4.1. Umum.....	56
V.4.2. Perbandingan nilai V_a Model Kapal <i>Existing</i> dengan Kapal + <i>Tunnel stern</i>	57
V.4.3. Perbandingan Distribusi Kecepatan Aliran pada <i>plane 2</i> dengan $V_s=5.14$ m/s.....	59
V.4.4. Ringkasan	60
Bab VI PERHITUNGAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI DAN PEMBAHASAN.....	63
VI.1. Pendahuluan.....	63
VI.2. Perhitungan Efisiensi Propulsi	63
VI.2.1. Umum	63
VI.2.2. Efisiensi <i>Propeller</i> Pada Model Kapal <i>Existing</i>	65
VI.2.3. Efisiensi <i>Propeller</i> pada Model Kapal dengan <i>Tunnel Stern</i>	66
VI.3. Perhitungan Efisiensi Sistem Propulsi.....	66
VI.3.1. Umum	66
VI.3.2. Efisiensi Sistem Propulsi pada Model Kapal <i>Existing</i>	67
VI.3.3. Efisiensi Sistem Propulsi pada Model Kapal dengan <i>Tunnel Stern</i>	68
VI.4. Pembahasan.....	68
Bab VII KESIMPULAN DAN SARAN	71
VII.1. Kesimpulan	71
VII.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A.....	75
LAMPIRAN B.....	80
LAMPIRAN C.....	93
BIODATA PENULIS	98

DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Pengaruh jumlah elemen terhadap hasil simulasi.	45
Tabel V.1 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 2.06$ m/s pada model kapal <i>existing</i>	49
Tabel V.2 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 3.09$ m/s pada model kapal <i>existing</i>	49
Tabel V.3 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 4.12$ m/s pada model kapal <i>existing</i>	50
Tabel V.4 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 5.14$ m/s pada model kapal <i>existing</i>	51
Tabel V.5 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 2.06$ m/s pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	53
Tabel V.6 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 3.09$ m/s pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	54
Tabel V.7 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 4.12$ m/s pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	55
Tabel V.8 Hasil analisa masing-masing <i>Plane</i> dengan $V_s = 5.14$ m/s pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	56
Tabel VI.1 Nilai V_a pada model kapal <i>existing</i>	65
Tabel VI.2 Efisiensi <i>propeller</i> model kapal <i>existing</i>	66
Tabel VI.3 Nilai V_a pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	66
Tabel VI.4 Efisiensi <i>propeller</i> model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	66
Tabel VI.5 Rekapitulasi nilai kecepatan aliran tiap <i>plane</i> pada model kapal <i>existing</i>	67
Tabel VI.6 Efisiensi sistem propulsi model kapal <i>existing</i>	67
Tabel VI.7 Rekapitulasi nilai kecepatan aliran tiap <i>plane</i> model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	68
Tabel VI.8 Efisiensi sistem propulsi model kapal dengan <i>tunnel stern</i>	68
Tabel VI.9 Perbandingan efisiensi sistem propulsi model kapal pada <i>propeller plane</i>	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar II-1 <i>Crussader Tank</i> turun dari <i>Landing Craft Tank</i> .	8
Gambar II-2 Kapal LCT yang sedang mengangkut konstruksi.	8
Gambar II-3 Kapal LCT Adinda Celinna yang mengangkut kontainer.	9
Gambar II-4 Aplikasi <i>tunnel stern</i> pada lifeboat.	13
Gambar II-5 Sketsa bentuk <i>tunnel stern</i> pada kapal kecil.	14
Gambar II-6 Panduan mendesain <i>tunnel stern</i> dari David Gerr.	14
Gambar II-7 Metode diskrit (CFX 2007).	17
Gambar II-8 Tahapan utama proses simulasi.	19
Gambar III-1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir.	24
Gambar IV-1 <i>Lines plan</i> dari gambar LCT yang belum dimodifikasi.	30
Gambar IV-2 Proses pengukuran untuk data tabel <i>offset</i> dengan <i>software</i> AutoCAD.	30
Gambar IV-3 Proses pembuatan model dengan <i>software</i> Maxsurf.	31
Gambar IV-4 Model yang telah dibuat di <i>software</i> Maxsurf.	31
Gambar IV-5 Proses permodelan dengan <i>software</i> Maxsurf.	32
Gambar IV-6 Model LCT yang telah dimodifikasi.	33
Gambar IV-7 Model LCT yang telah dimodifikasi tampak belakang.	33
Gambar IV-8 <i>Body plan</i> bentuk buritan kapal LCT yang telah dimodifikasi.	34
Gambar IV-9 Batas <i>inlet</i> (biru) dan model kapal (orange).	35
Gambar IV-10 Batas <i>outlet</i> .	35
Gambar IV-11 Batas <i>wall</i> .	36
Gambar IV-12 Tampilan <i>meshing</i> model dan batas-batas kolam untuk simulasi.	37
Gambar IV-13 <i>Meshing</i> pada model.	38
Gambar IV-14 Hasil pada tahap <i>pre-processor</i> .	40
Gambar IV-15 Grafik proses <i>running</i> pada tahapan <i>solver</i> .	41
Gambar IV-16 Lokasi <i>plane</i> yang diteliti.	42
Gambar IV-17 Batas konvergen iterasi.	43
Gambar IV-18 <i>Grid independence study</i> .	45
Gambar V-1 <i>Tool Function Calculator</i> pada tahap <i>post processor</i> .	48
Gambar V-2 Grafik kecepatan aliran pada model kapal <i>existing</i> dengan $V_s=2.06\text{m/s}$.	49
Gambar V-3 Grafik kecepatan aliran pada model kapal <i>existing</i> dengan $V_s=3.09\text{ m/s}$.	50
Gambar V-4 Grafik kecepatan aliran pada model kapal <i>existing</i> dengan $V_s=4.12\text{ m/s}$.	51
Gambar V-5 Grafik kecepatan aliran pada model kapal <i>existing</i> dengan $V_s=5.14\text{ m/s}$.	52
Gambar V-6 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i> pada $V_s=2.06\text{ m/s}$.	53
Gambar V-7 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i> pada $V_s=3.09\text{ m/s}$.	54
Gambar V-8 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i> pada $V_s=4.12\text{ m/s}$.	55
Gambar V-9 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan <i>tunnel stern</i> pada $V_s=5.14\text{ m/s}$.	56
Gambar V-10 Perbandingan grafik pada masing-masing <i>plane</i> dengan $V_s=2.06\text{m/s}$.	57
Gambar V-11 Perbandingan grafik pada masing-masing <i>plane</i> dengan $V_s=3.09\text{ m/s}$.	57
Gambar V-12 Perbandingan grafik pada masing-masing <i>plane</i> dengan $V_s=4.12\text{m/s}$.	58
Gambar V-13 Perbandingan grafik pada masing-masing <i>plane</i> dengan $V_s=5.14\text{ m/s}$.	58
Gambar V-14 Perbandingan visualisasi kecepatan aliran pada <i>plane</i> 2.	59

Gambar VI-1 Kurva K_T - K_Q - J untuk model kapal <i>existing</i> pada kecepatan $(V_s) = 2.06$ m/s.	64
Gambar VI-2 Kurva K_T - K_Q - J untuk model kapal dengan <i>tunnel stern</i> pada kecepatan $(V_s) = 2.06$ m/s.....	65
Gambar VI-3 Perbandingan hasil efisiensi sistem propulsi pada <i>propeller plane</i>	69

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini perkembangan dunia transportasi melaju dengan pesat, termasuk perkembangan transportasi laut dan sungai. Sungai-sungai yang ada di Indonesia memiliki kedalaman yang berangsur-angsur berkurang karena adanya pendangkalan. Keadaan geografis Indonesia yang khas ini menuntut desain kapal dengan sarat rendah agar dapat beroperasi di daerah sungai. Dalam kenyataannya, sudah ada kapal yang beroperasi pada kedalaman air yang rendah, seperti kapal tunda, *Landing Craft Tank* (LCT), kapal barang, dan kapal tanker sebagai alat transportasi yang sangat dibutuhkan.

Dalam merancang kapal untuk perairan dangkal, seorang *Naval Architect* atau desainer kapal harus membuat sarat kapal seminimal mungkin dengan menggunakan dua *propeller* dan bentuk buritan yang langsing. Penggunaan dua *propeller* (*twin screw*) ini dikarenakan terbatasnya sarat kapal sehingga membatasi ukuran diameter *propeller*. Namun untuk kapal kecil, opsi ini akan mengurangi ruang pada buritan kapal itu sendiri. Dibutuhkan konsep baru untuk mengatasi tantangan tersebut. Untuk meminimalisir pengurangan ruang pada buritan, namun fluida yang menuju ke *propeller* tetap optimal, maka digunakannlah konsep baru yaitu dengan menggunakan sebuah *channel* atau sering disebut dengan *tunnel stern* yang mengalirkan fluida dengan *smooth* ke *propeller* tanpa mengurangi bentuk buritan secara signifikan. Konsep ini terinspirasi dari bentuk kapal kecil (*small boat*) yang dalam performanya cukup baik. Namun belum banyak dilakukan penelitian tentang konsep ini.

Di Indonesia banyak berkembang penggunaan kapal *Landing Craft Tank* untuk keperluan komersial. Desain Kapal *Landing Craft Tank* (LCT) yang digunakan di Indonesia memiliki sarat yang rendah. Untuk itulah penulis akan melakukan penelitian tentang penambahan *tunnel stern* pada buritan *Landing Craft Tank*. Data kapal yang akan dilakukan analisa adalah data kapal 78M Landing Craft dengan nomer *hull* VT13 yang dibangun di Vitawani Shipbuilding. Kapal tersebut menggunakan 2 (dua) mesin utama dan 2 (dua) baling-baling (*twin screw*). Berikut adalah data ukuran utama kapal :

<i>LOA</i>	: 78,000 meter
<i>LWL</i>	: 74,407 meter
<i>LBP</i>	: 72,407 meter
<i>Breadth</i>	: 16,000 meter
<i>Depth</i>	: 4,800 meter
<i>Draft</i>	: 3,594 meter
<i>Vs</i>	: 10 knots

Atas dasar hal diatas penulis mengangkat judul “Modifikasi Desain Bentuk Buritan *Landing Craft Tank* (LCT) untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi”. Diharapkan dari penelitian ini akan menambah penelitian tentang *tunnel stern* dan diperoleh pembuktian bahwa dengan menambahkan *tunnel stern* pada bagian buritan kapal dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mendesain bentuk buritan kapal yang sesuai untuk *Landing Craft Tank* (LCT) yang memiliki sarat rendah?
2. Bagaimana menganalisa pengaruh perubahan desain bentuk buritan setelah dilakukan modifikasi terhadap efisiensi sistem propulsi?

I.3. Batasan Masalah

Batasan – batasan yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Pembahasan yang dilakukan tidak sampai pada perhitungan konstruksi kapal.
2. Pembahasan yang dilakukan tidak sampai pada pengaruh *shallow draft water*, hanya menganalisa tentang efisiensi sistem propulsi.
3. Data kapal dan data *propeller* menggunakan data kapal 78M Landing Craft dengan nomor *hull* VT13 yang dibangun di Vitawani Shipbuilding.
4. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dengan metode numerik.

I.4. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut diatas, maka tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan model kapal *existing* dengan metode numerik.
2. Menghasilkan model kapal yang telah dimodifikasi dengan metode numerik.
3. Menghasilkan analisis pengaruh yang ditimbulkan dari bentuk buritan yang telah dilakukan modifikasi terhadap peningkatan efisiensi sistem propulsi.

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini diharapkan akan memberikan solusi baru dalam rangka meningkatkan performa kapal tanpa harus melakukan perubahan pada mesin utama kapal. Dan hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan tambahan kepada desainer kapal maupun galangan sewaktu memilih desain *Landing Craft Tank* (LCT) yang sesuai dengan permintaan owner serta untuk memperkaya khasanah ilmu pengetahuan terutama dalam bidang perancangan kapal.

I.6. Hipotesis

Modifikasi bentuk buritan *Landing Craft Tank* (LCT) dengan menambahkan *tunnel stern* dapat meningkatkan kecepatan aliran pada buritan sehingga meningkatkan efisiensi sistem propulsi.

I.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang adanya suatu permasalahan yang dijadikan sebagai topik utama dalam pembuatan tugas akhir dimana bab ini juga berisikan rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis, serta sistematika dalam penulisan tugas akhir. Pembahasan permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini terdapat pada sub bab perumusan masalah. Dari permasalahan tersebut diperlukannya ruang lingkup atau batasan masalah agar tidak menyimpang jauh dari pembahasan yang sudah ditentukan, yang diatur dalam sub bab batasan masalah. Kemudian untuk sub bab tujuan, serta manfaat membahas untuk apa tugas akhir ini dibuat dan manfaat apa saja yang diperoleh dalam pengerjaan tugas

akhir ini. Serta dalam sub bab sistematika penulisan berisi bagaimana format penulisan tugas akhir ini.

2. Tinjauan Pustaka

Pada bab ini menjelaskan secara detail dasar teori termasuk rumus pendekatan yang digunakan dalam tugas akhir ini. Dalam bab ini juga terdapat konsep-konsep yang mendukung dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3. Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah-langkah dalam pengerjaan tugas akhir ini. Digambarkan dengan diagram alir pengerjaan, kemudian dijelaskan setiap poin yang ada dalam diagram alir tersebut.

4. Pembuatan Model dan Simulasi

Pada bab ini akan dijelaskan tentang pembuatan model numerik kapal yang akan dianalisa dengan menggunakan *software* yang dibutuhkan seperti *AutoCAD*, *maxsurf*, dan *ansys package*. Setelah proses pembuatan model, dilanjutkan proses simulasi untuk menganalisa bentuk model yang telah dibuat. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software ansys package*.

5. Hasil Simulasi Model

Pada bab ini akan dijelaskan tentang hasil dari simulasi pada model yang dilakukan dengan menggunakan *software ansys package*. Hasil simulasi yang didapat adalah nilai kecepatan aliran pada simulasi masing – masing model yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Dari hasil simulasi model ini nanti akan didapatkan data yang akan digunakan untuk proses selanjutnya pada bab VI.

6. Perhitungan Efisiensi Sistem Propulsi dan Pembahasan

Setelah didapatkan hasil simulasi pada bab sebelumnya, proses selanjutnya adalah pengolahan data tersebut. Pada bab ini akan dijelaskan tentang proses pengolahan data yang telah didapat dari hasil simulasi model. Pengolahan data yang dimaksud adalah perhitungan efisiensi sistem propulsi serta pembahasan. Perhitungan yang jelaskan pada bab ini adalah perhitungan efisiensi *propeller* yang merupakan komponen dari perhitungan efisiensi sistem propulsi. Dan pada bab ini nanti akan dibandingkan nilai efisiensi antara model kapal *existing* dengan model kapal yang menggunakan *tunnel stern*.

7. Kesimpulan dan Saran

Pada bab terakhir ini akan diberikan beberapa hal yang merupakan hasil kesimpulan dari seluruh proses penelitian yang telah dilakukan tentang modifikasi desain bentuk buritan yang telah dibahas dalam bab sebelumnya. Pada bab ini juga akan di berikan saran untuk penelitian tugas akhir selanjutnya untuk menyempurnakan penelitian yang telah dilakukan penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Pendahuluan

Pada Bab I telah dijelaskan secara garis besar mengenai ruang lingkup pekerjaan dari penelitian yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini. Untuk selanjutnya diperlukan kajian yang lebih mendalam dari berbagai macam referensi, baik itu teori yang telah berkembang saat ini. Pada Bab II ini akan dibahas mengenai pemahaman teori tentang performa kapal dari segi efisiensi sistem propulsi, dari mulai konsep dasar hingga fenomena yang menyertainya seperti misalnya modifikasi bentuk buritan kapal dan pengaruh kecepatan aliran dibelakang kapal. Pada bagian ini juga menjelaskan tentang aplikasi pemodelan numerik CFD (*Computational Fluid Dynamic*). Lebih jauh uraian Bab ini akan digunakan sebagai acuan untuk menyusun metodologi pada Bab III dan mendukung analisa hasil pada Bab IV dan V.

II.2. Landing Craft Tank (LCT)

Kapal LCT (*Landing Craft Tank*) adalah sebuah jenis kapal laut yang pada mulanya dirancang untuk keperluan militer. Pada perang dunia ke II, kapal LCT ini digunakan untuk mengangkut dan mendaratkan sekaligus tank-tank militer di tepi-tepi pantai eropa. Namun kini kapal LCT digunakan untuk mengangkut *cargo*, alat-alat berat, dan bahan-bahan konstruksi. Dengan Kapal LCT, alat-alat berat dan bahan-bahan konstruksi tersebut dapat diangkut hingga daerah-daerah terpencil yang sulit dicapai oleh kapal biasa.

Di Indonesia, kapal jenis ini juga tetap disebut juga dengan LCT, banyak kapal-kapal ini beroperasi di perairan dan jalur sungai Indonesia sebagai kapal-kapal komersial mengangkut berbagai muatan atau jenis barang yang berukuran besar dan berbobot besar (misalnya *dump truck*, *dozer*, *escavator*, alat konstruksi, *steel structure*, *boiler*, mesin turbin, *rig equipment*, *stransformer*, *material project*, dan masih banyak lagi) ke berbagai penjuru Indonesia, terutama ke daerah pertambangan atau lokasi proyek yang berada di pulau atau pantai dan jalur sungai.

Kapal jenis ini banyak digunakan untuk tujuan komersial karena kapal ini sangat efisien untuk pengangkutan muatan yang berukuran dan berbobot besar seperti disebutkan diatas. Selain itu, bahan-bahan konstruksi seperti pipa besi, lembaran baja, tanki air, dan sebagainya juga dapat diangkut dengan LCT.



Gambar II-1 Crusader Tank turun dari Landing Craft Tank.
(Sumber: <https://commons.wikimedia.org/>)

Jenis kapal LCT biasa juga digunakan sebagai sarana kapal ferry untuk jalur penyeberangan antar pulau di Indonesia. Fungsi lainnya LCT adalah sebagai sarana angkut bahan cairan untuk *supply* kebutuhan air bersih dan bahan minyak di lokasi proyek pertambangan atau untuk distribusi ke berbagai wilayah terpencil di Indonesia. Dan dewasa ini pengiriman barang banyak dilakukan dengan kontainer karena dinilai lebih efektif dan efisien, maka LCT juga banyak digunakan untuk mengangkut kontainer. Sehingga pada dek LCT yang mengangkut kontainer memiliki dek layaknya kapal kontainer.



Gambar II-2 Kapal LCT yang sedang mengangkut konstruksi.
(Sumber: <http://usedlandingcraft.ratson.com/>)



Gambar II-3 Kapal LCT Adinda Celinna yang mengangkut kontainer.
(Sumber: <http://www.marinetraffic.com/>)

II.3. Fenomena Aliran Air di Belakang Kapal

Benda yang bergerak di atas air yang tenang akan menimbulkan suatu riak gelombang. Begitu juga dengan kapal yang bergerak diatas air dengan kecepatan tertentu akan menghasilkan suatu fenomena aliran dari bagian depan kapal menuju buritan kapal hingga aliran air nantinya melewati buritan kapal. Pada bagian depan kapal dihasilkan gelombang sebagai akibat dari aliran air yang mengenai badan kapal bagian depan, kemudian aliran air melewati badan kapal bagian tengah dan selanjutnya menuju bagian belakang kapal masuk ke *propeller*.

Fenomena yang terjadi dibagian belakang kapal akibat perubahan dari kecepatan aliran yang dihasilkan dari bagian depan kapal. Aliran air yang nantinya memasuki *propeller* berdampak pada harga efisiensi sistem propulsi kapal. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai fenomena aliran air dibelakang kapal, penyebab terjadinya dan efek yang ditimbulkan.

II.3.1. Velocity of Advance (V_a) dan Wake (w)

Dalam setiap aliran air yang bergerak pada badan kapal dari depan kapal sampai ke bagian buritan kapal, selalu terjadi *wake* / arus ikut (w) yang merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan air yang melalui baling-baling (Harvald, 1983). *Wake* merupakan faktor penyebab munculnya 2 macam kecepatan kapal yakni V_s (kecepatan servis

kapal) serta V_a (*Velocity of advance* / kecepatan relatif dari partikel air yang melewati piringan baling-baling).

Dengan timbulnya *Wake* inilah menyebabkan besar V_a akan selalu lebih kecil dari besar V_s . Semakin besar w yang terjadi akan mengakibatkan V_a akan menjadi lebih kecil. Dengan V_a yang semakin kecil maka daya yang diperlukan untuk mendorong kapal agar mencapai kecepatan yang diinginkan akan menjadi lebih besar, berdasarkan rumusan berikut ini:

$$V_a / V_s = (1-w) \quad (1)$$

Dengan menggunakan rumus dari (Lewis, 1988).

$$w = 0.3095.C_b + 10.C_v.C_b - 0.23 D/(BT)^{0.5} \quad (2)$$

Wake pada kapal dapat terjadi karena pengaruh lambung kapal itu sendiri (dimana air akan mengalir menuju buritan dan membentuk arus) atau juga karena gerakan baling-baling kapal sehingga pada daerah disekitar baling-baling mengandung arus sesuai arah gerak baling-baling tersebut. Besarnya V_a dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_a = (1-w) V_s \quad (3)$$

Dengan :

V_a : *Velocity of advance*

V_s : Kecepatan dinas kapal

w : *Wake friction*

II.3.2. Efisiensi Sistem Propulsi

Dalam melakukan estimasi daya yang dibutuhkan kapal, perlu diketahui terlebih dahulu performa dan karakteristik dari sistem propulsi yang telah dipilih pada tahap desain, yang mana hal tersebut akan menentukan sistem operasi dan efisiensi dari sistem propulsi secara keseluruhan. Kebutuhan utama pada sistem propulsi kapal merupakan konversi daya (P) yang dimiliki oleh kapal yang berasal dari mesin penggerak utama kapal, yang diubah menjadi daya dorong (T) yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal pada kecepatan yang diinginkan (V) secara efisien.

Pada Tugas Akhir ini dikaji pada perubahan efisiensi sistem propulsi karena nantinya diharapkan terjadinya peningkatan efisiensi sistem propulsi kapal tanpa harus mengganti mesin

kapal. Besarnya efisiensi sistem propulsi η_D dapat dirumuskan seperti di bawah ini menurut (Lewis, 1988).

$$DHP = EHP / \eta_D \quad (4)$$

Dimana :

DHP : Daya propulsi kapal

EHP : Daya efektif kapal

η_D : Efisiensi sistem propulsi

Dari rumusan di atas dapat diambil harga efisiensi sistem propulsi tanpa memperhitungkan daya mesin karena mesin yang digunakan adalah sama. (Lewis, 1988)

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_P \quad (5)$$

Dimana :

η_D : *Efficiency Propulsif*

η_H : *Hull Efficiency*

η_R : *Relative-rotative Efficiency*

η_P : *Efficiency Propeller*

Komponen yang mempengaruhi nilai efisiensi sistem propulsi salah satunya adalah efisiensi *hull* (η_H). Sedangkan efisiensi *hull* dipengaruhi oleh harga *wake* (w), *wake* didapat dari perhitungan pada persamaan (2) untuk kapal dengan 2 (dua) baling-baling. *Hull Efficiency* (η_H) dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini menurut (Lewis, 1988).

$$\eta_H = (1 - t) / (1 - w) \quad (6)$$

Dimana :

w : *wake*; persamaan (2)

t : *trust deduction* , $t = 0.325 CB - 0.185 D/(B.T)^{0.5}$

η_R atau disebut juga dengan *Relative-rotative Efficiency* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut : (Lewis, 1988).

$$\eta_R = 0.9737 + 0.111 (CP - 0.0225) + 0.06325 P/D \quad (7)$$

$$\eta_R = 0.98$$

η_P atau disebut juga dengan *Propeller Efficiency* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta_P = (J/2\pi) \times (KT_{design}/KQ) \quad (8)$$

Efisiensi *propeller* dapat juga diperoleh dengan menggunakan kurva KT-KQ-J. Pada satu kurva KT-KQ-J pada AE/AO tertentu terdiri dari beberapa kurva KT dan efisiensi *propeller* yang Jumlahnya tergantung pada banyaknya variasi P/D dan 1 (satu) kurva KT *design*, dimana efisiensi dan KT sebagai sumbu ordinat dan J sebagai sumbu absis.

1. Perhitungan nilai J

$$J = V / n \cdot D \quad (9)$$

Dimana :

n : putaran *propeller* ;

D : Diameter *Propeller*

V : Kecepatan aliran yang masuk ke *propeller*

2. Perhitungan KT (*design*)

$$K_{T(design)} = (T \cdot J^2) / ((\rho \cdot V^2 \cdot D^2)) \quad (10)$$

Dimana :

T : *Thrust* ;

t : *Thrust deduction*

Pada kurva K_T -KQ-J dicari nilai efisiensi tertinggi dengan menggabungkan titik- titik pada kurva efisiensi dari hasil perpotongan K_T dan kurva $K_{T(design)}$ kemudian dilakukan regresi untuk mendapatkan suatu persamaan kuadrat guna mendapatkan titik puncak dari kurva efisiensi yang nantinya akan menjadi nilai efisiensi *propeller*.

II.4. *Tunnel Stern*

Tunnel stern merupakan salah satu bentuk modifikasi kapal dibagian buritan kapal. *Tunnel stern* dibuat dibagian bawah lambung buritan kapal yang tercelup air yang berbentuk seperti terowongan untuk mengalirkan fluida secara *smooth* menuju *propeller*. *Tunnel stern* sudah banyak di aplikasikan pada kapal-kapal kecil karena memiliki sarat yang rendah.

Selain kapal-kapal kecil yang sudah menggunakan desain *tunnel stern* pada buritan kapal, beberapa kapal *tug boat* juga sudah menggunakan *tunnel stern* untuk meningkatkan efisiensi sistem propulsi. *Tunnel stern* ini dipilih karena kondisi kapal yang memiliki sarat terbatas akibat daerah pelayarannya yang memiliki kedalaman yang rendah sehingga memaksa desainer kapal merancang kapal dengan sarat rendah. Dan *tunnel stern* inilah salah satu solusi yang bisa digunakan untuk kapal yang memiliki sarat rendah, namun tetap memiliki performa yang optimal.



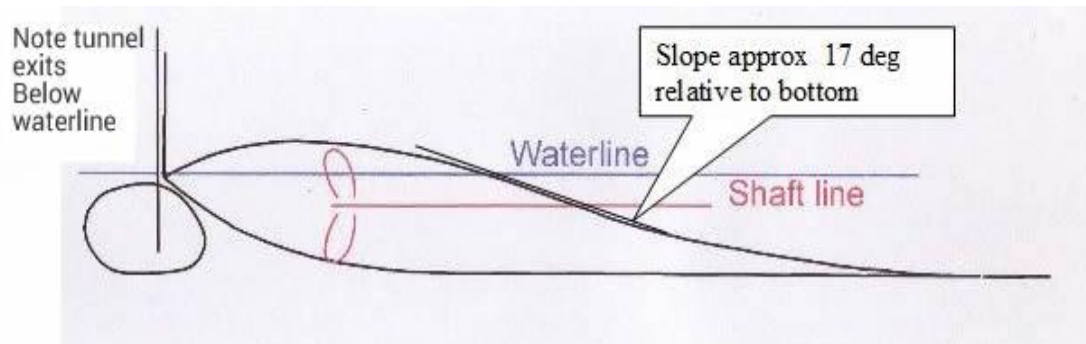
Gambar II-4 Aplikasi *tunnel stern* pada lifeboat.
(Sumber: <http://www.wbta.co.uk/>)

Tunnel stern memiliki beberapa keuntungan apabila diaplikasikan pada buritan, yaitu dapat mengurangi *shaft angle*, ukuran diameter *propeller* yang lebih besar, dan meningkatkan *pitch* sehingga dapat meningkatkan efisiensi *propeller*. *Tunnel stern* dapat membantu aliran menuju *propeller* lebih *smooth* sehingga dapat memberikan jarak (*clearances*) yang lebih bebas. (Atlar, 2013)

Dengan keuntungan-keuntungan *tunnel stern* yang telah disebutkan sebelumnya, bukan berarti tidak memiliki kekurangan. Dengan penambahan *tunnel stern* pada buritan kapal, ini berarti akan menambah konstruksi pada bagian tersebut, sehingga akan menaikkan biaya yang tinggi untuk konstruksi *tunnel stern* itu sendiri.

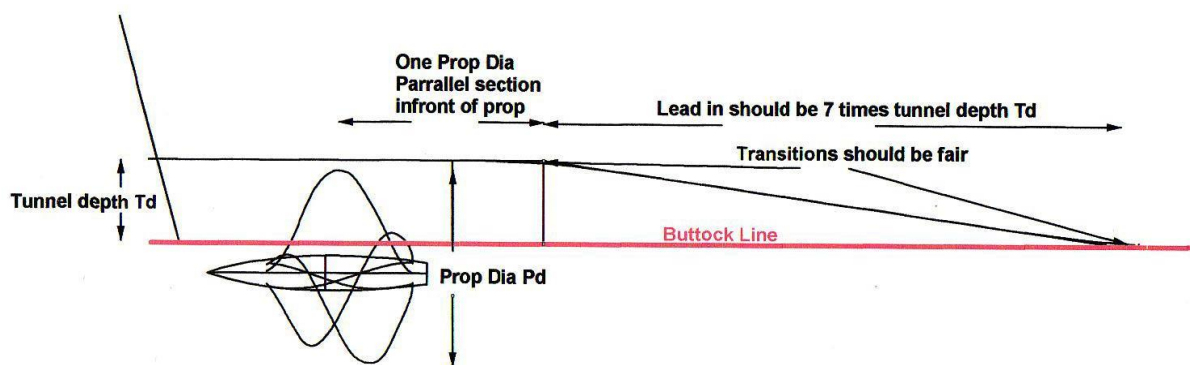
Dan dari sisi produksi, untuk membuat plat menjai *round* juga tidak mudah. Dan ukuran tebal pelat di bagian buritan rata-rata memiliki pelat yang lebih tebal pada bagian lain sehingga sulit untuk proses membentuk pelat dengan bentuk *round*. Sehingga akan sulit pada bagian produksi yang pada akhirnya akan meningkatkan biaya produksi. Untuk itulah, penulis

mencoba mendesain bentuk *tunnel stern* yang datar agar mudah diproduksi. Berikut ini adalah sketsa sederhana bentuk *tunnel stern* pada buritan.



Gambar II-5 Sketsa bentuk *tunnel stern* pada kapal kecil.
(Sumber: <http://www.wbta.co.uk/>)

Ada beberapa aturan atau batasan dalam mendesain *tunnel stern* yang baik. Seperti yang diberikan oleh David Gerr seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar II-6 Panduan mendesain *tunnel stern* dari David Gerr.
(Sumber: <http://www.wbta.co.uk/>)

Seperti tampak pada gambar II-6, dalam mendesain *tunnel stern* perlu memperhatikan ukuran diameter *propeller* dan *tunnel depth*. Seperti hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, desain *tunnel stern* yang baik dapat meningkatkan performa kapal *tug boat*. Aliran air yang *smooth* menuju *propeller* dapat meningkatkan efisiensi *propeller* dan performa kapal. (Mulder, 2006)

II.5. CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD merupakan ilmu dibidang sains dalam menentukan penyelesaian numerik dari permasalahan dinamika fluida. CFD (Computational Fluid Dynamic) juga merupakan metode perhitungan menggunakan kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan

komputer. CFD adalah bentuk pendekatan dari studi dan pengembangan bidang dinamika fluida selain pendekatan teori dan eksperimen murni dilaboratorium.

Pada awalnya dasar-dasar dinamika fluida hanya melibatkan eksperimen dan seiring perkembangannya dinamika fluida melibatkan eksperimen dan penggunaan teori murni hingga pada akhirnya dikembangkanlah metode CFD dengan keterbatasannya. Namun CFD di zaman modern ini mengalami perkembangan yang pesat dan diterapkan hampir semua disiplin ilmu yang memerlukan analisa aliran fluida.

Prinsip perhitungan CFD diawali dengan membagi domain fluida menjadi sejumlah elemen terintegrasi. Setiap elemen tersebut dikontrol oleh suatu persamaan dengan menggunakan perhitungan numerik, untuk kemudian diperoleh hasil berupa gaya – gaya yang bekerja pada model ataupun keterangan lain yang dapat menggambarkan kondisi model pada kondisi batas tertentu.

Kondisi batas dalam hal ini diperlukan sebagai *input*. Prinsip ini sering dipakai pada proses perhitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip tersebut adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah penemuan CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai dikenal pada tahun 70 an. Awal pemakaian konsep CFD hanya terbatas pada aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD semakin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Sebagai contoh adalah semakin berkembangnya *software* CAD yang memiliki kompatibilitas tinggi dengan CFD, baik dalam kelengkapan *tool* maupun dalam pendukung konsep perhitungan untuk menganalisa gaya yang terjadi pada model analisa. Pemakaian CFD secara umum dapat dipakai untuk memprediksi:

1. Aliran suatu fluida beserta distribusi temperaturnya
2. Transfer massa
3. Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan
4. Reaksi kimia seperti oksidasi (pembakaran)
5. Gerakan mekanis seperti piston, fan dan propeller pada kapal
6. Tegangan dan tumpuan pada benda solid
7. Gelombang elektromagnet.

CFD menerapkan perhitungan yang dikhususkan pada fluida beserta perilakunya, mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip – prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum dan hukum kekekalan massa, perhitungan CFD dapat dilakukan.

Secara sederhana proses perhitungan CFD dapat diawali dengan mendefinisikan suatu model menjadi elemen–elemen kecil. Setiap elemen yang terbentuk akan dikontrol dengan menggunakan konsep persamaan dinamika fluida. Seperti pada persamaan matematis lainnya, persamaan dinamika fluida memerlukan variabel inputan untuk mendapatkan suatu nilai hasil.

CFD memanfaatkan kondisi batas (*Boundary Conditions*) pada domain fluida sebagai variabel inputan guna menjalankan persamaan tersebut. Sebagai contoh, ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur maka perhitungan yang dilakukan akan menggunakan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa inisialisasi awal dari persamaan dinamika fluida adalah *boundary condition*.

Adapun beberapa keuntungan yang didapat dari penerapan metode CFD antara lain adalah :

1. Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain dan menganalisa suatu model jika dibandingkan dengan eksperimen dilaboratorium.
2. Keakuratan dapat selalu dikontrol selama proses desain dan simulasi.
3. Dapat melakukan simulasi yang tidak dapat dilakukan dengan eksperimen laboratorium.

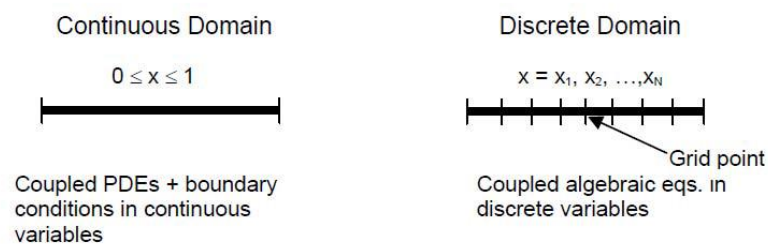
Penerapan dari metode CFD untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida pada kapal telah mengalami kemajuan yang cukup pesat, bahkan saat ini penerapan metode CFD hampir menggeser eksperimen dilaboratorium jika dilihat dari keuntungan penggunaan metode CFD. Penggunaan metode CFD memungkinkan untuk memprediksi fenomena aliran fluida yang jauh lebih kompleks dengan berbagai tingkat akurasi jika dibandingkan dengan eksperimen dilaboratorium.

Dalam desain kerjanya, permasalahan yang muncul perlu dideskripsikan kedalam *software* yang mewakili metode CFD dengan menggambarkan model yang akan dianalisa, sifat-sifat dari fluida yang mempengaruhi model dan juga perlu ditetapkan kondisi batasnya. Selanjutnya dilakukan *running* program CFD untuk menghasilkan *output* yang diharapkan.

II.5.1. Metode Penyelesaian

Metode yang biasa digunakan untuk menyelesaikan persamaan dinamika fluida di atas adalah metode diskrit. Metode ini mendefinisikan permasalahan fluida yang bada dasarnya bersifat kontinu dari *inlet* ke *outlet* menjadi model diskrit atau terpotong-potong. Tujuannya adalah untuk mempermudah perhitungan.

Semua parameter, gaya, kecepatan, tekanan dll dianalisa pada setiap potong elemen yang nantinya akan diintegrasikan untuk memperoleh penyelesaian secara menyeluruh dan kontinu. Ilustrasi mengenai metode penyelesaian dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar II-7 Metode diskrit (CFX 2007).

Lebih lanjut, teori diskritasi ini dikembangkan menjadi metode yang lebih kompleks, yang sering digunakan dalam permasalahan fluida. Adapun metode tersebut meliputi *finite element method*, *finite volume method*, *finite difference method*.

Finite element method, metode ini menggunakan fungsi bentuk sederhana (linear atau kuadrat) pada elemen yang menggambarkan variasi variabel aliran. Persamaan pengendali dapat dipenuhi dengan penyelesaian secara eksak. Jika perkiraan persamaan tersebut tidak terpenuhi maka akan terjadi sisa (*residual*) yang dapat diukur kesalahannya. Kemudian sisa tersebut diminimumkan dengan cara mengalikannya dengan fungsi berat dan pengintegralan. hasilnya adalah fungsi aljabar untuk koefisien yang tidak diketahui dari fungsi perkiraan.

Finite Volume Method, metode ini dikembangkan dengan formulasi khusus metode beda hingga. Secara global, algoritma numerik yang dimiliki oleh metode beda hingga adalah dengan melakukan pengintegralan persamaan pengendali aliran fluida terhadap seluruh kontrol volume dari *domain* penyelesaian. Kemudian dilanjutkan dengan pendiskritan yang meliputi substitusi berbagai pendekatan beda hingga dari suku-suku persamaan yang diintegrasikan tersebut. Sehingga menggambarkan proses aliran seperti konveksi, difusi dan *source*. Pada tahap ini setiap persamaan integral akan diubah menjadi persamaan aljabar. Setelah itu persamaan-persamaan aljabar akan diselesaikan dengan metode iterasi.

II.5.2. *Software*

Proses desain model meliputi bagian buritan kapal dan penambahan *tunnel stern* menggunakan beberapa *software engineering* untuk membuat dan memodifikasi model tersebut. Meskipun fungsi dari setiap *software* yang dipakai pada metode CFD berbeda, akan tetapi perlu adanya kesinambungan antara *software* yang satu dengan yang lainnya. Hal ini dilakukan agar hasil yang diperoleh dari *software* yang satu dapat terbaca oleh *software* yang lain. Berikut adalah *software engineering* yang digunakan untuk melakukan model numerik kapal, yakni :

1. AutoCAD

Software AutoCAD digunakan untuk mengolah data gambar *lines plan*. Dari gambar *lines plan* akan diolah dengan *software* AutoCAD untuk menghasilkan tabel *offset* yang nantinya akan didapat data titik-titik lokasi *control point* yang akan digunakan untuk memodelkan kapal pada *software* maxsurf.

Untuk memodelkan kapal *existing*, model disesuaikan dengan *lines plan* yang ada. Model dibuat semirip mungkin dengan kapal yang asli agar hasil simulasi dapat akurat. Begitu juga dengan modifikasi *tunnel stern*, desain *tunnel stern* dilakukan dengan bantuan *software* AutoCAD terlebih dahulu untuk memudahkan dalam memodelkan di *software* selanjutnya, yaitu di *software* maxsurf.

2. Maxsurf

Software Maxsurf digunakan untuk menggambar model secara 3 dimensi, menggambar dan memodifikasi model kapal dibagian buritan dan menambahkan *tunnel stern* dibagian buritan kapal. Model kapal dibuat sesuai dengan data *lines plan* yang telah diolah dengan *software* AutoCAD. Proses pembuatan model di *software* maxsurf adalah dengan memasukkan data *control point* yang didapat dari pengolahan data gambar *lines plan* sehingga akan didapatkan model kapal yang semirip mungkin dengan kapal yang asli.

Begitu juga dengan proses modifikasi penambahan *tunnel stern*, dari model kapal asli yang sudah dibuat, kemudian dimodifikasi bentuk buritannya dengan menambahkan *tunnel stern* dengan ukuran yang sesuai. Kemudian hasil dari permodelan kapal dengan *software* maxsurf ini di-export ke *software* CFD package agar dapat dibaca dan dilakukan simulasi pada *software* CFD package.

3. CFD Package

Model yang telah dibuat di *software* maxsurf sudah berbentuk 3 dimensi, namun belum dapat di lakukan simulasi langsung dengan *software* CFD package. Dalam *software* ini terdapat sub program untuk membuat (*build*) model kapal agar dapat dijalankan pada sub program CFD package yang lainnya yaitu *solver* dan *post processor*. Pada proses pembuatan model hingga proses *meshing* format *file* dibuat dalam bentuk *.msh agar dapat di-*running* dalam *software* selanjutnya.

Proses *meshing* merupakan proses pemberian selimut berupa jaring-jaring dipermukaan badan kapal untuk dilakukan analisa secara matriks oleh *software* berikutnya. Tiap *node meshing* tersebut dihitung oleh *software* sehingga dapat digunakan untuk perhitungan parameter (tekanan, kecepatan dan sebagainya) didalam sub program berikutnya.

Tahapan proses yang dilakukan oleh *software* setelah dilakukan proses *meshing* diperlukan untuk memperoleh format file *.def. Model yang telah berhasil dibuat akan dianalisa kembali untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan dari fluida yang melewati model kapal tersebut, parameter yang dibutuhkan memiliki nilai yang hampir mendekati kenyataan.

Untuk mendapatkan hasil yang akurat, dibutuhkan ketelitian dalam mengoperasikan *software* ini. Dalam kaitannya dengan *meshing*, semakin rapat *meshing* yang dibuat maka akan semakin halus bentuk model yang dibuat. Oleh karena itu semakin rapat atau semakin banyak *node meshing* yang dibuat pada proses *meshing*, maka akan semakin teliti hasil yang diperoleh namun tentu saja hal ini akan membuat proses pengerjaan semakin lama. Untuk mendapatkan hasil yang akurat dan waktu yang diperlukan tidak berlebihan, maka dilakukan beberapa simulasi untuk melakukan proses *grid independence* untuk memilih mana ukuran *meshing* yang paling optimal.

Secara umum dalam menjalankan *software* CFD package dibagi kedalam 3 (tiga) tahapan utama, yaitu:

- a) *Pre Processor*
- b) *Solver*
- c) *Post Processor*



Gambar II-8 Tahapan utama proses simulasi.

a) *Pre Processor*

Tahap ini secara garis besar adalah membuat model dengan tipe atau bentuk yang dapat dideskripsikan oleh *solver*. Proses ini dapat dimulai dengan membuat model yang akan dianalisa, kemudian dilanjutkan dengan pendefinisian domain dan kondisi batas (*boundary condition*). Pada tahap ini model beserta ruangan yang akan dianalisa dibagi – bagi sejumlah *grid* tertentu atau juga disebut dengan *meshing*.

Pada tahap awal pemrograman ini terdiri dari *input* masalah aliran untuk *software* melalui *interface* kemudian mengubahnya menjadi bentuk yang sesuai dengan format yang dikehendaki oleh bagian *solver*. Pada tahap ini perlu dilakukan input permasalahan sesuai dengan aturan pada *software* meliputi:

1. Membentuk geometri benda dan daerah disekeliling benda sebagai *domain* dan *boundary* komputasi.
2. Membentuk *grid generation* atau membagi *domain* yang telah ditentukan menjadi bagian yang lebih kecil (*sub-domain*).
3. Penentuan kondisi-kondisi yang dialami oleh model : penentuan sifat fluida (kecepatan, temperatur, tekanan dan lain-lain), kondisi permukaan benda dan sebagainya.
4. Penentuan kondisi batas dari model kapal, lokasi pembuatan kondisi batas harus ditentukan baik pada daerah disekeliling benda atau pada aliran yang diperhitungkan.
5. Penentuan besar kecilnya atau rapat tidaknya *meshing* menentukan akurasi penyelesaian *software* CFD package.

Analisa masalah aliran yang berupa kecepatan, tekanan atau temperatur didefinisikan sebagai suatu daerah yang berupa simpul-simpul tiap *cell*. Jumlah *cell* dalam *grid* (*mesh*) menentukan akurasi penyelesaian *software*. Pada umumnya semakin banyak *cell* semakin akurasi penyelesaiannya. Dan waktu yang dibutuhkan dalam proses *solver* akan lebih lama.

Namun hal ini tidak selamanya berlaku, pada skala tertentu penambahan *cell* tidak mempengaruhi hasil dari analisa. Untuk itu pengguna *software* dituntut untuk menentukan jumlah *cell* atau elemen yang optimum. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan *grid independence*.

b) *Solver* (Penyelesaian perhitungan)

Tahap selanjutnya adalah processor /solver, pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya perhitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atauhingga mencapai nilai yang konvergen. Perhitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume control dengan proses integrasi persamaan diskrit. Solver dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *finite difference*, *finite element* dan *finite volume*. Secara umum metode numerik *solver* terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Pendeteksian bentuk-bentuk sesuai kebutuhan untuk *running* dan *meshing* menjadi *surface*, *edge*, *point* dan *solid*.
2. Pembuatan *mesh* dan memasukkan label kondisi untuk selanjutnya dilakukan *iterasi* dan *loop*.

c) *Post Processor*

Pada tahapan proses perhitungan secara iterasi kemudian akan memberikan hasil *file* dengan format *.res yang kemudian dapat ditampilkan dan diolah sesuai dengan item yang ingin dianalisa oleh *software post processor*. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola tertentu.

Pada step ini akan ditampilkan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, hasil perhitungan dapat dilihat berupa data numerik dan data visualisasi aliran fluida pada model. Data numerik yang diambil adalah data nilai variable sifat fluida, data sifat fluida yang dapat di ambil pada tahap ini adalah sebagai berikut:

1. *Density*
2. Kekentalan *density*
3. Eddy *Viscosity*
4. Koefisien perpindahan panas
5. Nilai dari *mach*
6. Tekanan
7. Tekanan gradien
8. *Shear strain rate*
9. *Specific capacity heat transfer rate*

10. Entalpi statis
11. Suhu
12. *Thermal conductivity*
13. Total entalpi
14. Total suhu
15. Total tekanan
16. Turbulen energi kinetik
17. Kecepatan
18. *Wall heat flux*
19. Gaya gesek
20. Yplus
21. Koordinat

Data visualisasi model atau *output* yang dapat ditampilkan oleh *post processor* adalah sebagai berikut:

1. Gambar geometri model.
2. Gambar *surface* fluida.
3. Analisa aliran fluida.
4. *Vector* kecepatan.
5. Gerakan rotasi, translasi dan penyekalaan.
6. Arah aliran fluida.

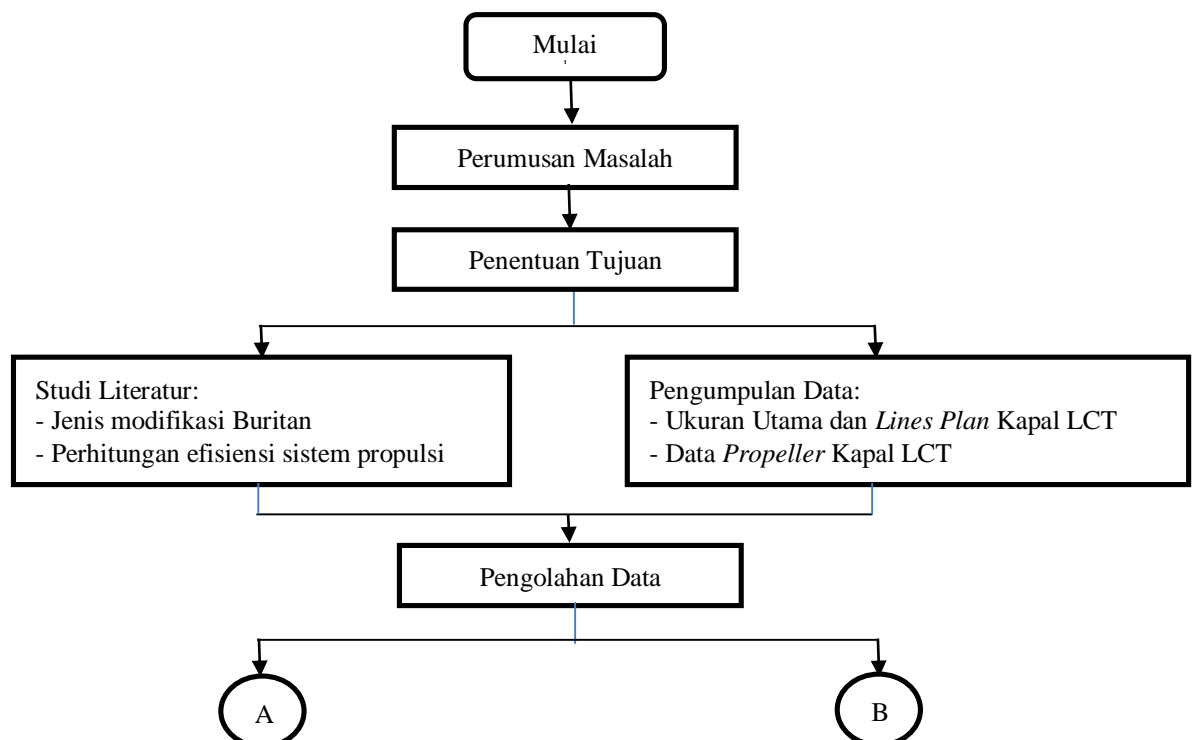
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

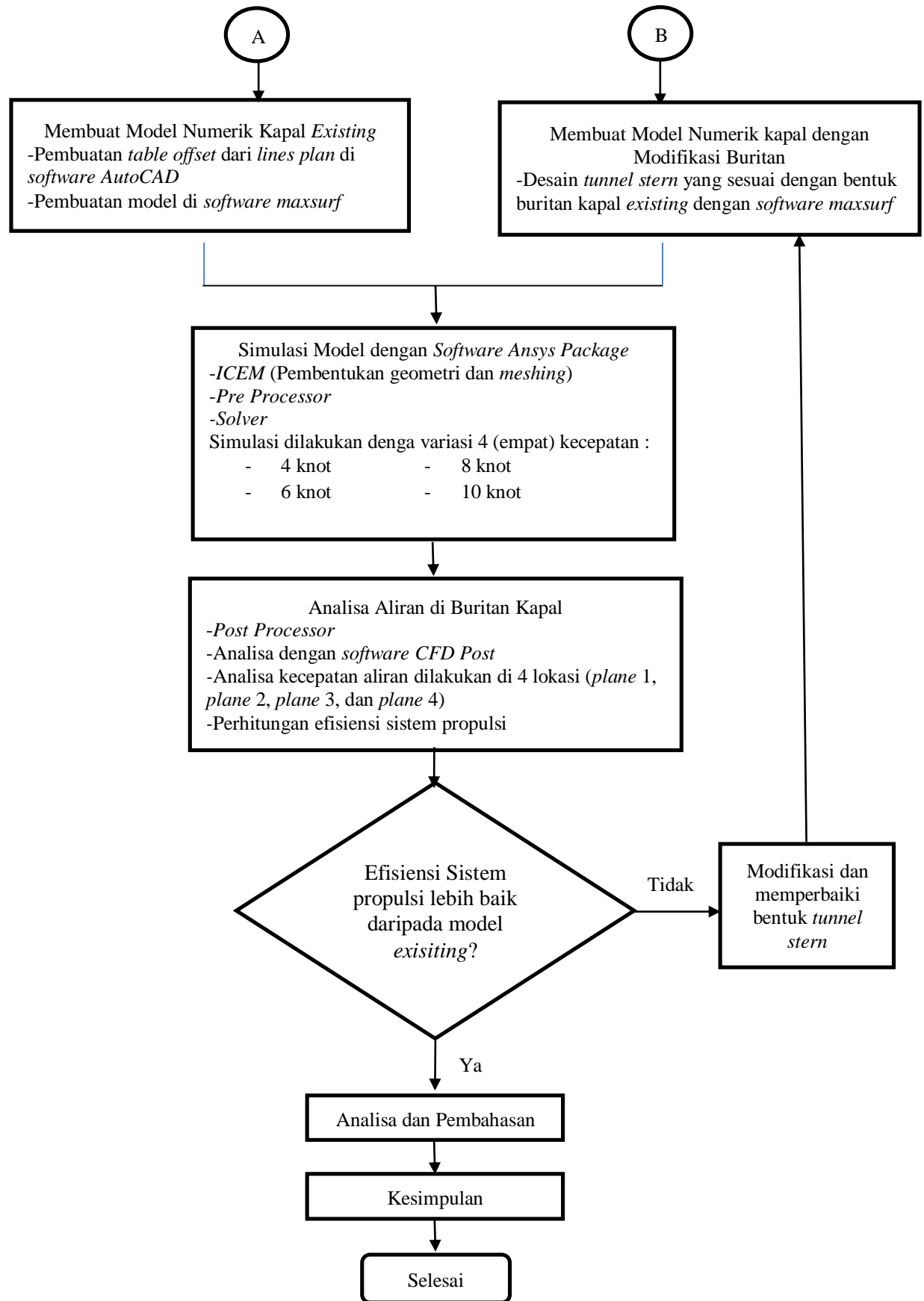
III.1. Pendahuluan

Dalam tugas akhir ini, analisa yang dilakukan adalah mengenai pengaruh modifikasi bentuk buritan kapal dengan menambahkan *tunnel stern* untuk mengatasi permasalahan bentuk buritan kapal dengan sarat rendah. Penambahan *tunnel stern* pada buritan kapal dapat mengatasi permasalahan ruangan yang terbatas pada buritan tetapi tanpa mengurangi performa kapal yang berkaitan dengan efisiensi sistem propulsi. Proses analisa dilakukan pada model *Landing Craft Tank* yang dibuat dengan *software maxsurf* dan dianalisa dengan menggunakan metode numerik atau CFD dengan *software ANSYS package*. Secara garis besar, penelitian ini menggunakan metode permodelan numerik dengan komputer untuk mengevaluasi aliran air diburitan kapal dan peningkatan efisiensi sistem propulsi setelah dilakukan modifikasi dibagian buritan kapal dengan melakukan penambahan *tunnel stern*. Tentu saja semuanya tidak keluar dari batasan masalah yang telah ditentukan sebelumnya pada BAB I.

III.2. Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir dari pelaksanaan penelitian ini.





Gambar III-1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir.

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pada Proses awal ini akan dilakukan pengidentifikasian dan perumusan masalah tentang konsep apa saja yang selanjutnya akan dikerjakan untuk memperoleh hasil akhir atau kesimpulan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Identifikasi masalah dilakukan terhadap latar belakang penulisan Tugas Akhir ini, sehingga dalam Tugas Akhir ini terdapat 2 (dua) rumusan masalah yang akan menjadi penentuan tujuan dari Tugas Akhir ini.

2. Penentuan Tujuan

Setelah diketahui permasalahan dari rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan model numerik kapal *existing* dan model kapal numerik yang telah dilakukan modifikasi pada buritan dengan menambahkan *tunnel stern* dan menghasilkan analisa kecepatan aliran pada buritan yang berkaitan dengan peningkatan efisiensi sistem propulsi.

3. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan literatur-literatur atau referensi mengenai semua yang berhubungan dengan pengerjaan Tugas Akhir ini terutama tentang modifikasi bentuk buritan kapal, fenomena aliran didaerah buritan kapal dan *tunnel stern*. Studi literatur dapat diperoleh melalui buku teks, jurnal atau paper, laporan penelitian yang berkaitan, internet dan sebagainya selama materi didalamnya masih berkaitan dengan permasalahan yang dibahas dan dapat membantu penyelesaian Tugas Akhir ini.

4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan ukuran utama kapal dan ukuran *tunnel stern* yang sesuai dengan kapal yang akan dilakukan penelitian ini. Data yang dibutuhkan adalah *lines plan* kapal *existing* dan data dari *propeller* yang digunakan.

5. Pengolahan Data

Tahap berikutnya setelah pengumpulan data adalah melakukan pengolahan data. Pada tahapan dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. Permodelan Lambung dan tunnel stern

Pembuatan model numerik kapal meliputi lambung kapal, modifikasi lambung bagian buritan dengan penambahan *tunnel stern*. Permodelan ini nantinya digunakan untuk simulasi model. Permodelan lambung ini menggunakan *table offset lines plan* dari

kapal *existing* yang telah didapat. Dari data gambar *lines plan*, harus dibuat *table offset* terlebih dahulu baru bisa dimodelkan pada *software maxsurf*.

b. Ukuran Tunnel stern

Tunnel stern dibuat sesuai dengan diameter *propeller* dan diletakkan dibagian bawah dari buritan kapal yang tercelup air. Untuk memperoleh ukuran *tunnel stern*, diameter *propeller* dan sarat kapal menjadi acuan dalam mendesain bentuk buritan dengan *tunnel stern*. *Tunnel stern* disesuaikan dengan diameter *propeller*, yaitu 2m

c. Variasi kecepatan dan letak plane

Untuk mendapatkan perbandingan hasil yang diperoleh nantinya dilakukan beberapa variasi yaitu kecepatan dan *plane*. Pada penelitian ini digunakan 4 (empat) variasi kecepatan. Sedangkan *Plane* merupakan lokasi yang nantinya menjadi fokus penelitian. Variasi tersebut berupa petetakan lokasi dari *plane* yang dibagi menjadi 4 (empat) jarak sesuai dengan diameter *plane*.

6. Simulasi CFD

Setelah model numerik berhasil dibuat selanjutnya dilakukan simulasi dengan menggunakan *software CFD* untuk mengetahui karakteristik fluida yang terjadi yang berpengaruh terhadap aliran air di buritan kapal. Simulasi dengan bantuan komputer diselesaikan dengan menggunakan *software CFD package*. *Software* ini memiliki kemampuan untuk mengevaluasi karakteristik aliran diburitan kapal yang tidak dapat diperoleh dengan eksperimen laboratorium.

Evaluasi dengan menggunakan *CFD* disimulasikan dengan menggunakan 4 (empat) variasi kecepatan, yaitu dengan kecepatan 4 *knot*, 6 *knot*, 8*knot*, dan 10 *knot*. Simulasi model kapal tersebut dilakukan untuk kapal *existing* dan inovasi penggunaan *tunnel stern* di buritan kapal yang bertujuan untuk menambah ruang pada buritan dan meningkatkan efisiensi sistem propulsi.

7. Analisa Data (Aliran diburitan Kapal)

Pada tahap ini dilakukan analisa data hasil dari simulasi model numerik pada *software CFD*. Data – data yang diperoleh dari simulasi model numerik ini digunakan untuk menentukan perhitungan dan kesimpulan akhir dari Tugas Akhir ini. Analisa data kecepatan aliran di buritan kapal didapatkan dari analisa di 4 (empat) lokasi *plane* yang telah dibuat, yaitu *plane 1*, *plane*

2 (*propeller plane*), *plane* 3, dan *plane* 4. Setelah didapatkan data kecepatan aliran, selanjutnya adalah dilakukan perhitungan efisiensi system propulsi pada masing-masing model.

8. Kesimpulan

Kesimpulan yang diambil dengan mengacu dari hasil analisa data yang dilakukan setelah disesuaikan dengan teori-teori atau literatur yang berkembang saat ini.

9. Pembuatan Laporan

Pada tahapan ini semua hasil laporan dari awal hingga akhir akan didokumentasikan kedalam laporan akhir. Didalam laporan akhir telah diperoleh kesimpulan dari Tugas Akhir.

III.3. Spesifikasi Komputer untuk Perhitungan Numerik

Seiring dengan semakin majunya teknologi yang diikuti dengan semakin beragamnya *software engineering* untuk melakukan simulasi komputer, maka untuk mendukung berjalannya proses perhitungan numerik dengan komputer diperlukan spesifikasi komputer yang memadai. Adapun spesifikasi yang digunakan tersebut adalah:

- *Processor : Intel ® Core i5 – 2400 CPU @3.1GHz*
- *Installed Memory (RAM) : 4.00 GB*
- *System Type : 64-bit Operating System*
- *VGA ATI Radeon HD 5400 1 GB*
- *Operating System : Windows 7 Ultimate Genuine*

Dengan spesifikasi komputer seperti yang disebut di atas diharapkan proses perhitungan dengan metode numerik berjalan lancar dan lokasi dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah Laboratorium Perancangan Kapal dan Laboratorium Komputasi Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB IV

PEMBUATAN MODEL DAN SIMULASI

IV.1. Pendahuluan

Data dari proses simulasi pada *software* CFD Package yang dibutuhkan untuk menganalisa aliran air dibelakang buritan kapal sebagai pengaruh dari pemasangan *tunnel stern* dalam memodifikasi bentuk badan kapal dibagian buritan terhadap peningkatan efisiensi sistem propulsi kapal adalah kecepatan aliran air sebelum memasuki *propeller* dan setelah melewati *propeller*.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, maka akan dilakukan proses simulasi dengan beberapa macam variasi dari dari kecepatan kapal dan letak dari *plane* yang mewakili lokasi aliran yang dianalisa. Selain itu, agar terlihat perbedaan efisiensi sistem propulsi yang dihasilkan antara lambung kapal bagian buritan yang tidak menggunakan *tunnel stern* dengan lambung kapal bagian buritan yang menggunakan *tunnel stern*.

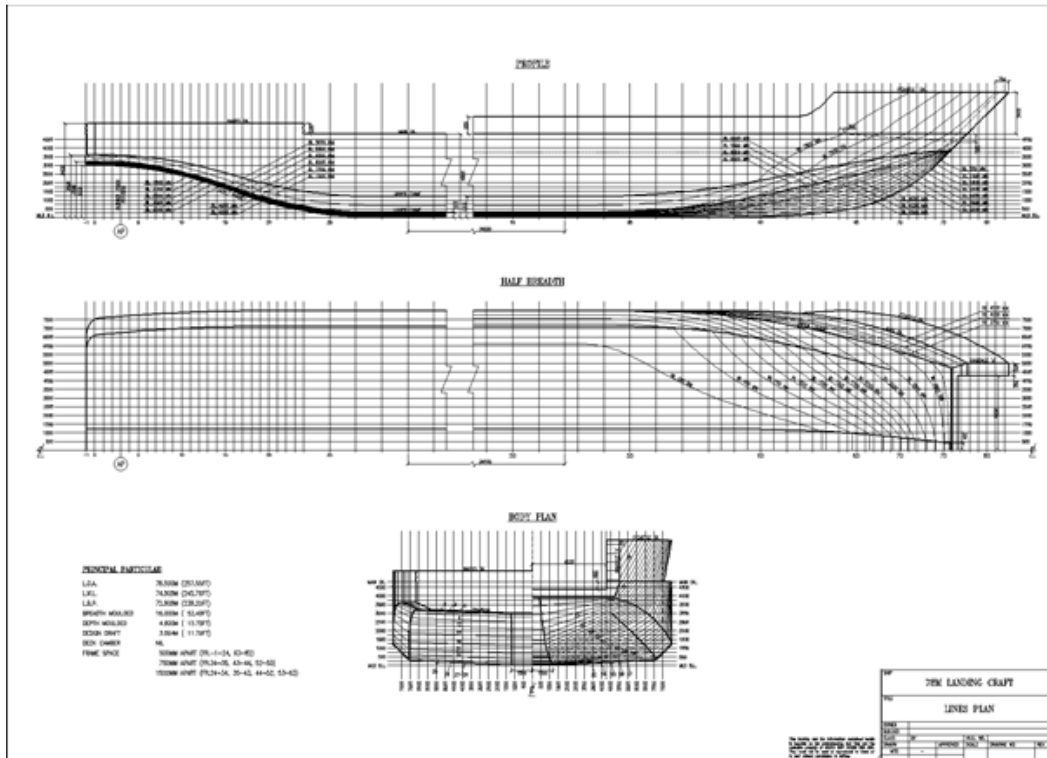
IV.2. Pembuatan Model Kapal

Pada tahap permodelan lambung kapal, dilakukan penggambaran lambung kapal keseluruhan, tidak hanya dibagian buritan kapal meskipun yang menjadi fokus penelitian Tugas Akhir ini adalah dibagian buritan kapal. Karena badan kapal dari haluan hingga buritan adalah satu kesatuan. Model kapal numerik yang diperlukan adalah model lambung kapal *existing* dan model dengan *tunnel stern*. Semua model tersebut dibuat berdasarkan data yang telah didapat penulis yang sudah dijelaskan pada Bab I.

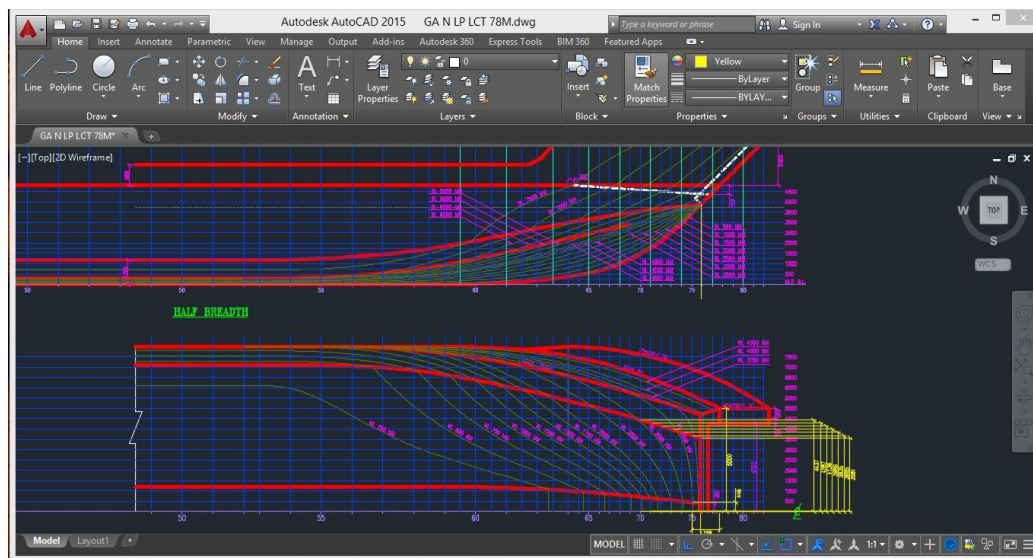
IV.2.1. Model Lambung Kapal

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah memodelkan kapal ke dalam bentuk 3 dimensi agar nantinya dapat dilakukan simulasi dengan *software* ICEM pada Ansys package. Untuk dapat memodelkan kapal ke dalam bentuk 3 dimensi, sebelumnya kita harus sudah mempunyai desain *lines plan* dari kapal yang akan di analisa. Data yang dibutuhkan dari *lines plan* adalah data tabel *offset*. Data tabel *offset* digunakan untuk mengatur *control point* pada *software* yang digunakan untuk memodelkan kapal.

Dengan data dari tabel *offset* ini diharapkan model yang dihasilkan dapat semirip mungkin dengan kapal asli. Karena data(gambar) *lines plan* yang didapat penulis tidak dilengkapi dengan tabel *offset*, maka diperlukan pembuatan(pengukuran) tabel *offset*. Dalam pembuatan tabel *offset* ini, digunakan *software* AutoCAD untuk membantu pengukuran pada titik – titik yang dibutuhkan.

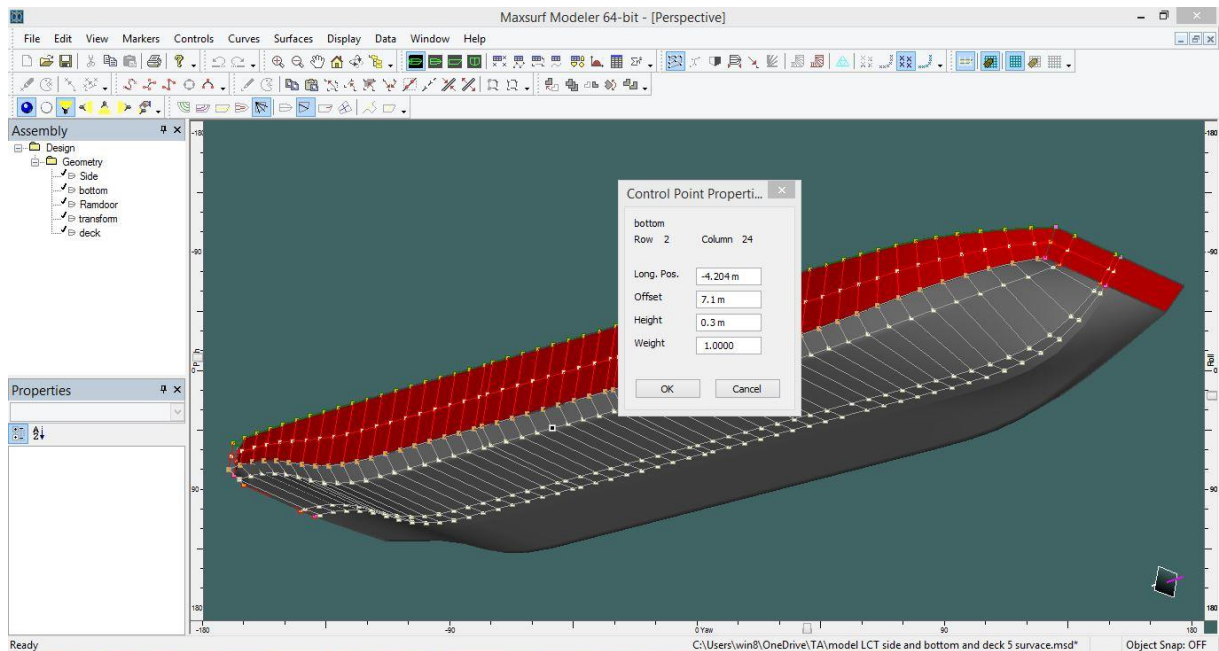


Gambar IV-1 *Lines plan* dari gambar LCT yang belum dimodifikasi.



Gambar IV-2 Proses pengukuran untuk data tabel *offset* dengan *software* AutoCAD.

Setelah proses pembuatan tabel *offset* menggunakan bantuan *software* AutoCAD selesai, maka dilanjutkan dengan proses memodelkan kapal dengan bantuan *software* Ship Design (Maxsurf). Pertimbangan dari penggunaan *software* ini adalah tersedianya fitur-fitur yang mendukung dan memudahkan proses pembuatan lambung kapal berdasarkan data ukuran utama kapal dan *software* ini telah banyak digunakan dalam dunia perkapalan baik itu dalam dunia pekerjaan ataupun dunia pendidikan.



Gambar IV-3 Proses pembuatan model dengan *software* Maxsurf.

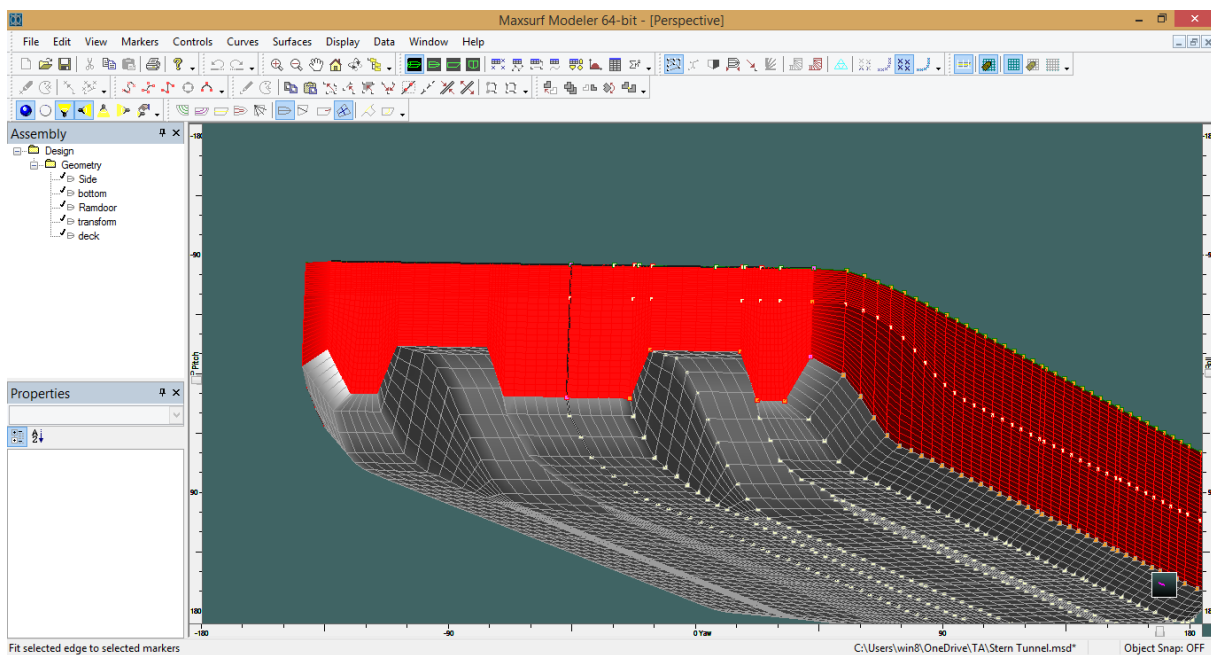


Gambar IV-4 Model yang telah dibuat di *software* Maxsurf.

Setelah model kapal selesai dibuat, maka geometri kapal tersebut di-*export* atau diubah kedalam bentuk format file *.igs agar dapat terbaca oleh *software* Ansys Package untuk kemudian dilakukan proses simulasi model numerik.

IV.2.2. Model *Tunnel Stern*

Setelah model lambung kapal selesai dibuat, lalu dilakukan modifikasi pada bagian buritan kapal dengan menambahkan *tunnel stern*. Proses yang dilakukan dalam memodelkan kapal dengan penambahan *tunnel stern* ini sama dengan proses pembuatan model kapal tanpa *tunnel stern*. Dengan bantuan *software* AutoCAD untuk merancang ukuran *tunnel stern* sesuai dengan batasan – batasan yang sudah dijelaskan dalam merancang *tunnel stern* di bab sebelumnya dan untuk mengetahui ukuran yang dibutuhkan untuk data *control point* yang diperlukan pada proses selanjutnya yaitu memodelkan di *software* maxsurf.



Gambar IV-5 Proses permodelan dengan *software* Maxsurf.

Dalam melakukan modifikasi penambahan *tunnel stern*, disesuaikan dengan diameter *propeller* dan sarat kapal. Dan *tunnel* nya pun dibuat sedemikian rupa sehingga tetap *streamline* dan *smooth*. Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa desain *tunnel stern* yang baik sangat menentukan dalam peningkatan efisiensi sistem propulsi karena berkaitan dengan aliran yang menuju *propeller*. Tujuan bentuk *tunnel stern* adalah untuk mengarahkan aliran air yang menuju *propeller* menjadi lebih *smooth* yang nantinya akan meningkatkan efisiensi *propeller*.

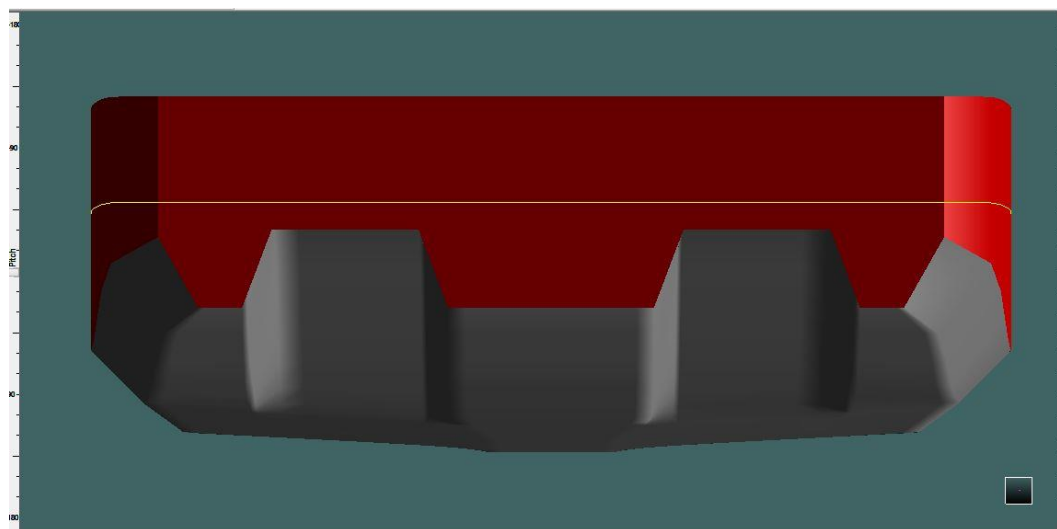
Dalam penelitian ini, penulis merancang bentuk *tunnel stern* yang datar dengan pertimbangan kemudahan dalam proses produksi. Pada umumnya penggunaan *tunnel stern* pada kapal adalah *tunnel stern* dengan bentuk *round*. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab II.4. yang menjelaskan tentang *tunnel stern*, *tunnel stern* yang memiliki bentuk *round* memiliki beberapa kelemahan dalam proses produksi.

Ukuran pelat pada bagian linggi buritan memiliki ketebalan pelat yang relatif lebih tebal dari ketebalan pelat bagian yang lain. Untuk proses membentuk pelat menjadi *round* tidak mudah dan pada proses pengelasan dikhawatirkan akan mudah terjadi *crack* pada sambungan-sambungan pelat tersebut. Oleh karena itu, bentuk *tunnel stern* yang berbentuk *round* memiliki tingkat kesulitan yang tinggi dalam proses produksi.

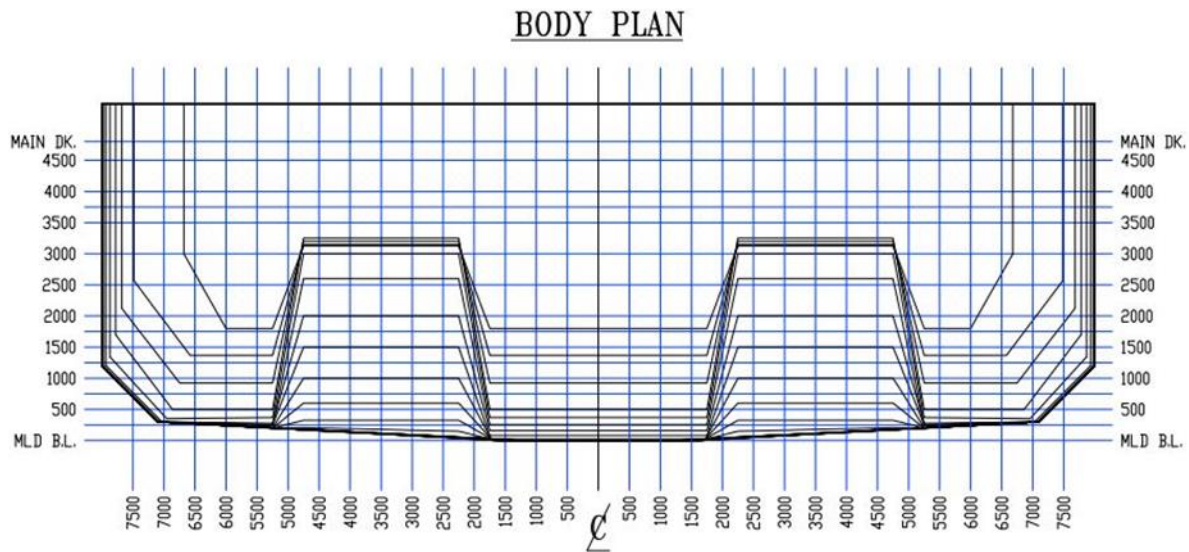
Atas dasar tersebut penulis merancang bentuk *tunnel stern* yang datar agar dalam proses produksi mudah dilaksanakan. Dalam merancang *tunnel stern* yang berbentuk datar, penulis tetap memperhatikan batasan – batasan dalam merancang *tunnel stern* seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya agar didapat desain yang baik. Sehingga walaupun dengan bentuk datar, aliran yang menuju *propeller* tetap akan *smooth* agar dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi seperti yang diharapkan.



Gambar IV-6 Model LCT yang telah dimodifikasi.



Gambar IV-7 Model LCT yang telah dimodifikasi tampak belakang.



Gambar IV-8 Body plan bentuk buritan kapal LCT yang telah dimodifikasi.

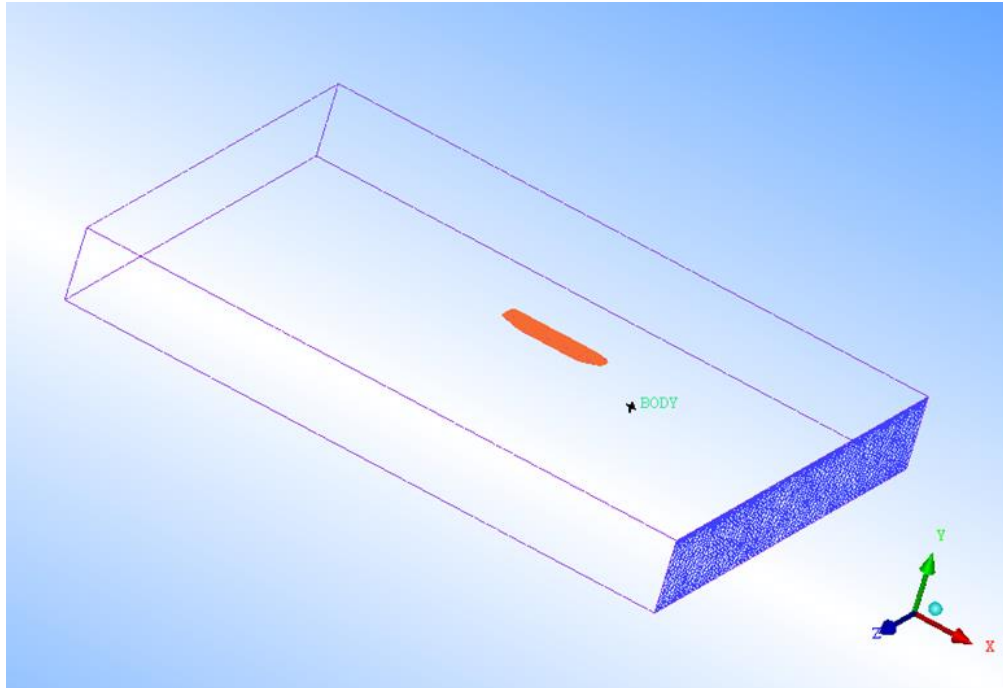
Seperti model sebelumnya, setelah model kapal selesai dibuat langkah selanjutnya adalah mengekspor bentuk file ekstensinya menjadi ekstensi *.igs atau *.dwg. Dua bentuk ekstensi file tersebut dapat dibaca pada *software* ICEM di Ansys package untuk dilakukan proses selanjutnya, yaitu proses *meshing*.

IV.3. Simulasi dengan *Software* Ansys Package

Setelah model selesai dibuat selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan menggunakan *Software* Ansys Package. Penggunaan *software* untuk menggantikan pengujian model dilaboratorium bertujuan untuk mempersingkat waktu untuk mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian laboratorium. Dengan semakin singkatnya waktu pengujian maka dapat menekan biaya operasional dalam melaksanakan pengujian dilaboratorium.

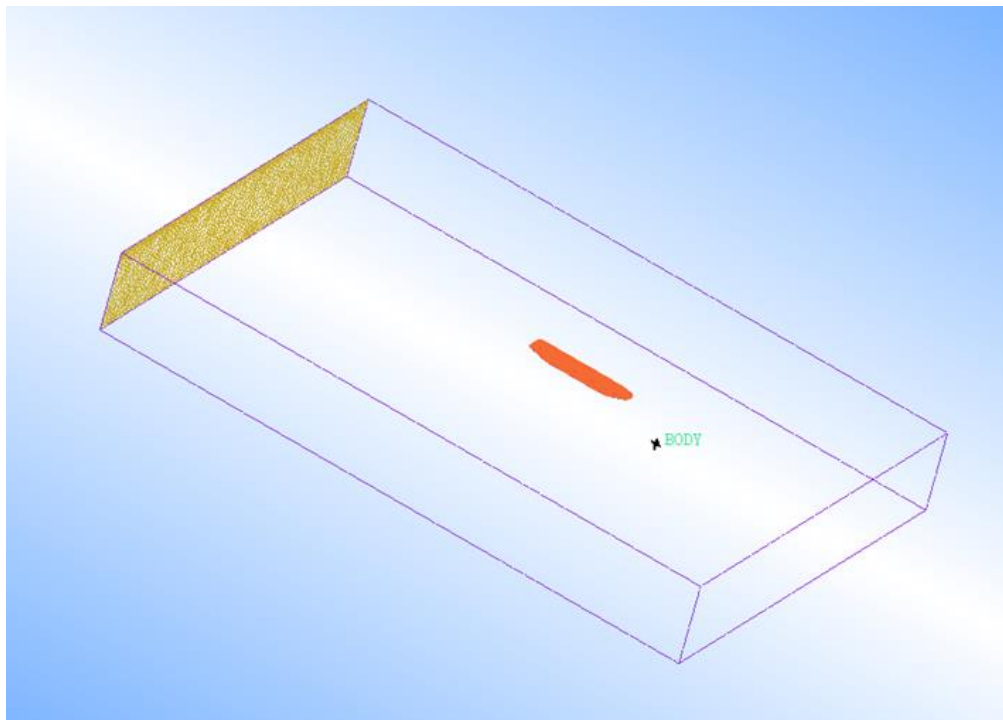
IV.3.1. Pemberian *Boundary* dan *Meshing* pada Model

Setelah penggambaran model selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah pemberian *boundary* atau batas-batas yang nantinya akan menjadi parameter dalam melakukan simulasi. Batas –batas yang dimaksud adalah *inlet*, *outlet*, *wall* dan *domain*. Pemberian batas hanya menggunakan fitur *surface*, yang digambar dengan bentuk balok yang diletakan mengelilingi model. Hasil dari pemberian batas-batas yang telah di *surface* dapat dilihat pada gambar-gambar di bawah ini.



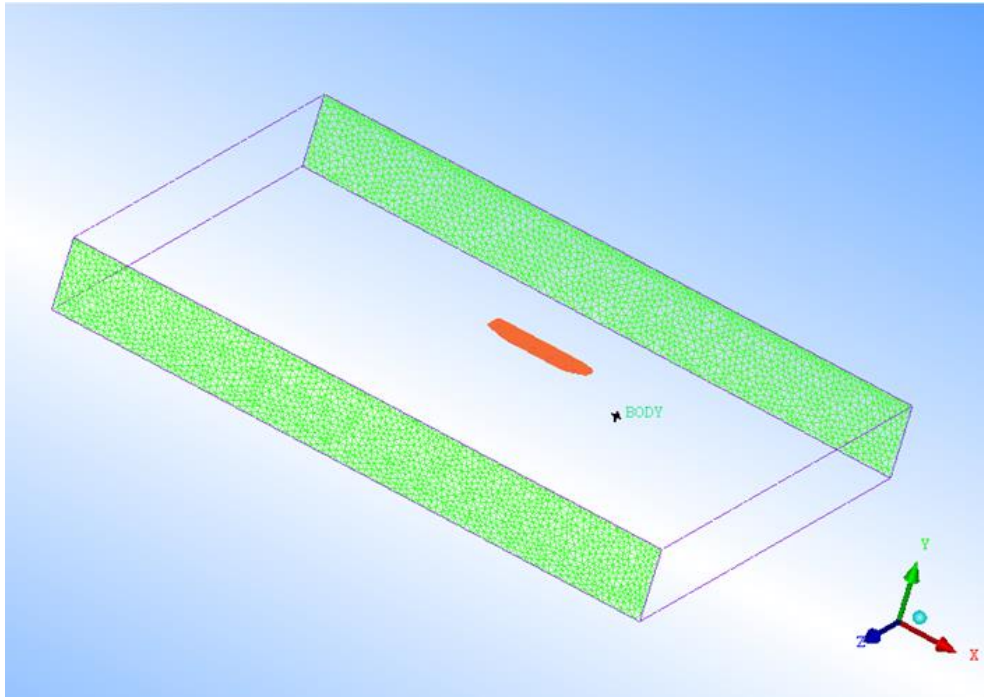
Gambar IV-9 Batas *inlet* (biru) dan model kapal (orange).

Batas *inlet* merupakan lokasi masuk fluida yang digunakan dalam proses simulasi. Fluida dari *inlet* ini akan melaju hingga lokasi outlet dengan batas – batas *wall*, *bottom*, dan *top*. Untuk proses meshing pada batas *inlet*, *wall*, *bottom* dan *top* tidak harus rapat *node meshing* yang digunakan karena bentuk dari batasan – batasan itu adalah datar.



Gambar IV-10 Batas *outlet*.

Selain karena bentuk batas yang datar, karena yang menjadi objek utama penelitian ini adalah kecepatan aliran yang dipengaruhi bentuk, maka *node meshing* kecil dibuat pada model kapal. Tujuannya adalah agar model yang dihasilkan bentuknya halus sehingga hasil simulasi keluar itu sesuai dengan harapan.



Gambar IV-11 Batas *wall*.

Tampak pada gambar di atas, batas –batas berbentuk kotak atau balok dengan model kapal didalamnya. Pemberian batas ini sesuai dengan ukuran yang optimum berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan ditulis dalam beberapa poin di bawah ini. (Anggara, 2013).

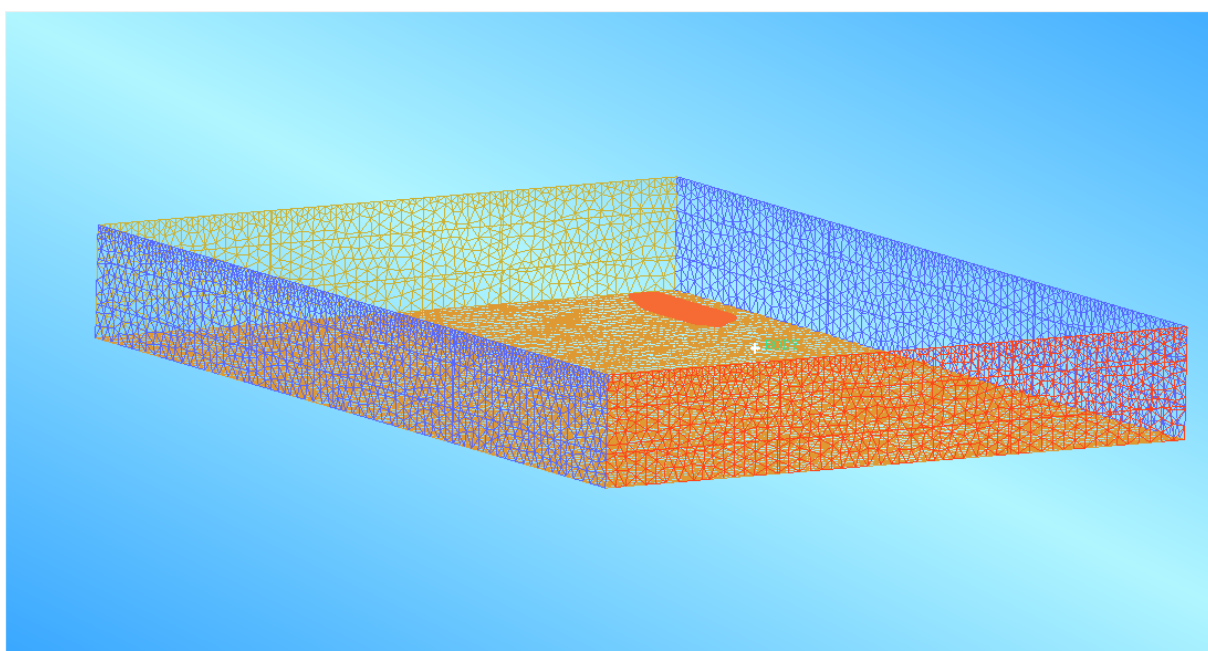
1. Jarak sisi depan (*inlet*) terhadap model berkisar $2L - 3L$,
2. Jarak samping ke sisi model $\geq 2L$
3. Jarak sisi belakang (*outlet*) terhadap model berkisar $3L-5L$

Setelah pemberian batas dilakukam maka tahap selanjutnya adalah pembuatan *body*, pembuatan *body* dilakukan dengan menggunakan fitur *create body* yang ada didalam *software* dengan cara menghubungkan dua titik koordinat secara diagonal.

Setelah pembuatan *body*, tahap selanjutnya adalah *meshing*. Pada tahapan ini, fitur yang dipilih pada *software* adalah *mesh*. Pada fitur ini ada bebrapa pilihan yang harus ditentukan

terlebih dahulu sebelum melakukan *meshing*. Fitur yang dipilih adalah *mesh setup*, dari fitur ini dimasukkan variabel yang diperlukan yaitu : *max size*, *height* dan *height ratio*.

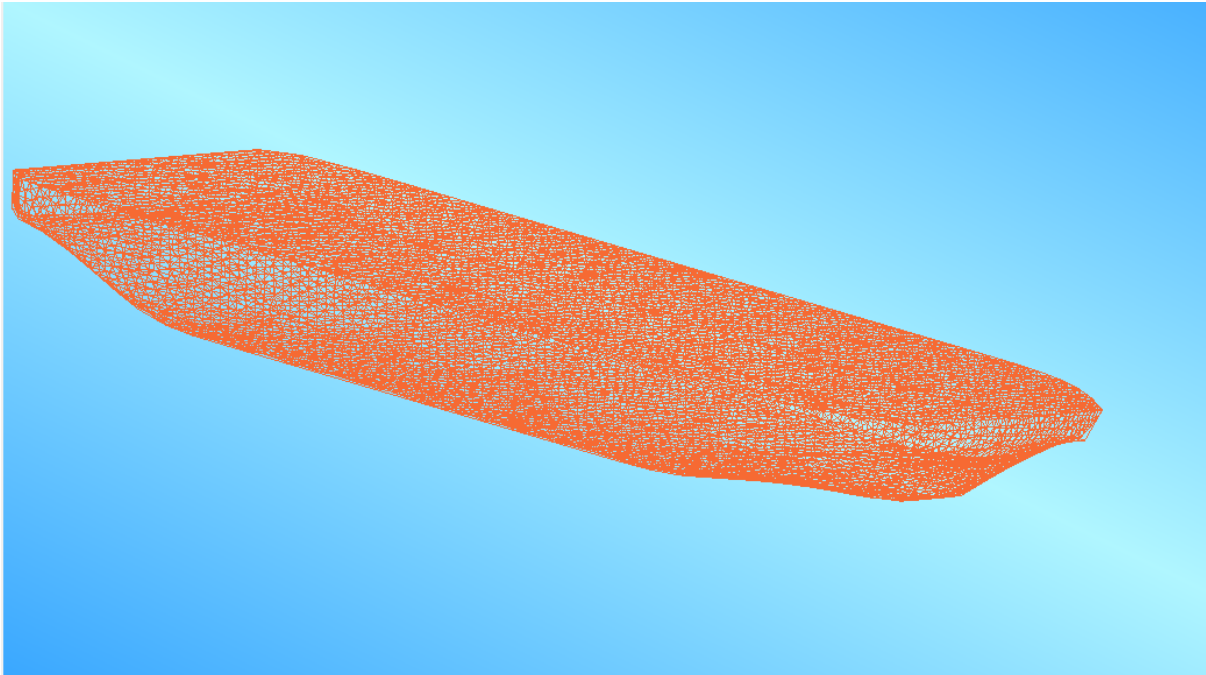
Setelah variabel dimasukkan selanjutnya dilakukan proses *meshing* dengan memilih *compute mesh*. Durasi dari lamanya proses *meshing* tergantung dari besar kecilnya variabel yang dimasukkan pada fitur *mesh setup*, selain itu kemampuan komputer juga berpengaruh pada durasi lamanya *meshing*. Tampilan *meshing* berupa jaring-jaring yang membungkus seluruh bagian geometri termasuk didalamnya model kapal dan batas-batanya (Gambar IV-12).



Gambar IV-12 Tampilan *meshing* model dan batas-batas kolam untuk simulasi.

Untuk mendapatkan hasil *meshing* yang optimum, maka harus dilakukan proses *grid independence* agar didapatkan *meshing* yang optimum. Proses *grid independence* ini adalah proses untuk menentukan ukuran *meshing* yang optimum agar hasil simulasi yang akan didapatkan itu akurat.

Dalam melakukan proses *grid independence*, dilakukan beberapa kali percobaan. Hasil optimum yang dimaksudkan adalah ketika ada beberapa parameter yang menjadi pertimbangan batasan, dalam kasus ini adalah kecepatan komputasi dan kerasionalan hasil. Artinya jumlah elemen tertentu harus menghasilkan hasil yang masuk akal dengan waktu komputasi yang relatif minimum. Hasil dari *meshing* dapat dilihat pada gambar IV-13 di bawah ini.



Gambar IV-13 Meshing pada model.

Setelah hasil *meshing* didapat, agar hasilnya dapat dibaca dan dijalankan oleh *software CFD package* maka harus dilakukan penamaan ulang atau perubahan *extensi* dengan menggunakan fitur *output* dengan memilih fitur *solver*. Dan pilih sesuai dengan *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi tersebut. Setelah ditentukan *output* yang akan digunakan selanjutnya proses simulasi dilakukan pada *software CFD package* yang telah dipilih. *software CFD package* ini dibagi menjadi 3 tahapan yaitu *pre-processor*, *solver* dan *post-processor*.

IV.3.2. Pre-Processor

Setelah penggambaran model, pemberian batas dan *meshing* selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dari model kapal tersebut. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Ansys package* sesuai dengan urutan langkah pengerjaan simulasi. Dimulai dari *CFD pre13.0*, untuk memulai simulasi baru maka dipilih opsi *new case* selanjutnya pilih *general*.

Untuk simulasi dan analisa yang akan dijalankan maka opsi yang dipilih adalah *free surface*. Opsi ini digunakan untuk simulasi dari desain kapal yang menggunakan dua jenis fluida yaitu air dan udara.

Pertama-tama yang harus dilakukan memasukan *mesh* yang telah dibuat sebelumnya dari model kapal dan batas-batasnya. Setelah itu memasukkan parameter-parameter yang diperlukan biasa disebut dengan *creating expression in CEL (CFX Expression Language)*.

Beberapa parameter yang dimasukkan adalah ukuran syarat kapal, massa jenis air dan udara selain parameter yang telah disebutkan tadi pengisian dilakukan secara otomatis pada *software*.

Setelah memasukkan parameter ekspresi yang dibutuhkan, selanjutnya adalah memasukkan *domain* (*creating the domain*). *Domain* yang dimaksudkan disini adalah jenis dari fluida yang akan dilakukan penelitian yaitu air dan udara. *Domain* disini berupa masukan nilai tekanan (*pressure*), gaya angkat (*Buoyancy*) dan model fluida. Pada fitur model fluida terdapat pilihan *sheer stress transport* yang dipilih menggantikan *default setting*-nya yaitu *K-Epsilon*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

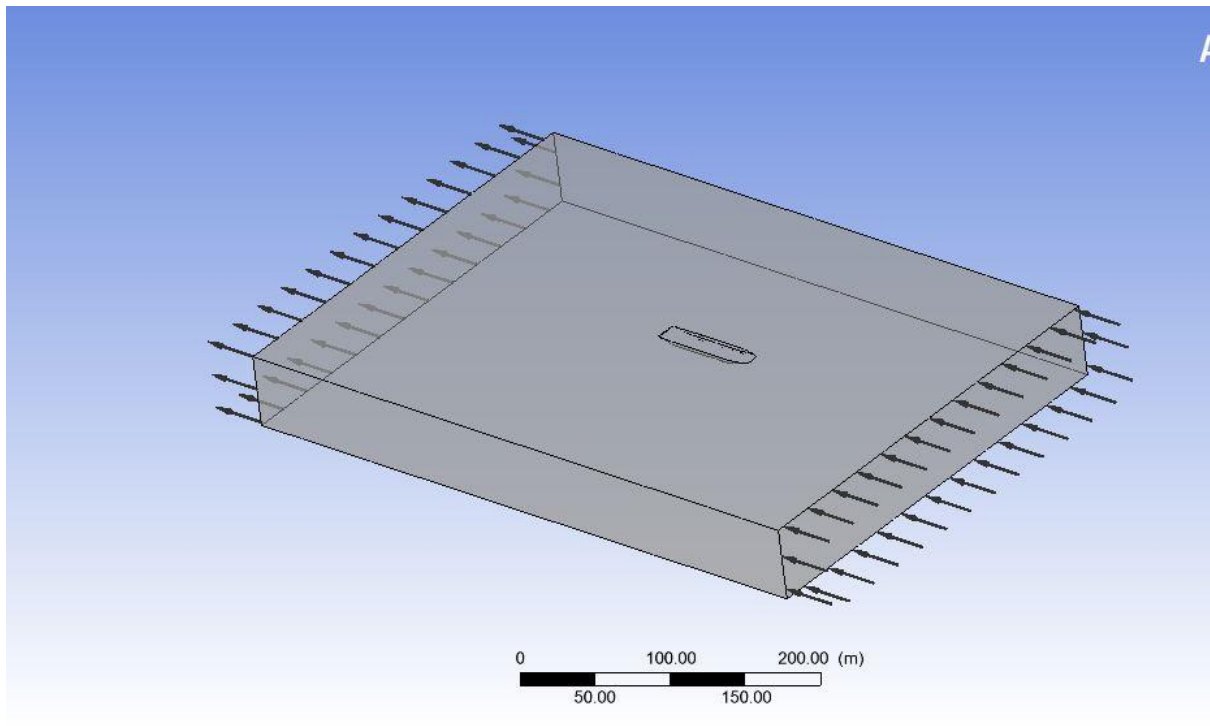
Dilanjutkan dengan pemberian nilai atau harga pada kondisi batas (*creating the boundaries*) yang telah dibuat sebelumnya. Pada tahapan ini batas-batas yang telah ditentukan sebelumnya diberikan sebuah nilai atau harga, misalnya: *Inlet boundary* dimasukkan harga kecepatan kapal atau kecepatan model, pada penelitian ini dimasukkan angka kecepatan model 5.14 m/s untuk variasi kecepatan kapal 10 knot. *Outlet boundary* dimasukkan pilihan *static pressure* karena karena dibagian kapal diharapkan tidak ada pengaruh apapun atau dalam keadaan statis. *Wall boundary* dimasukkan parameter “*No slip wall*” agar fluida tidak terpengaruh terhadap dinding atau *wall* yang dijadikan batas yang mengelilingi model kapal.

Setelah pemberian nilai atau harga pada batas (*boundary*), selanjutnya melakukan pengaturan atau *setting initial values* dari nilai yang dimasukan kedalam batas-batas atau *boundary*. Pengaturan ini lebih ditekankan kepada penentuan arah datangnya atau masuknya fluida yang akan digunakan untuk melakukan simulasi pada model kapal. Pada bagian ini kebanyakan pengaturan telah otomatis, hanya saja perlu memasukkan nilai kecepatan model kapal dan arah masuknya fluida yang searah sumbu U pada *software*.

Dilanjutkan dengan *setting mesh adaption parameters*, yaitu melakukan pengaturan pada *mesh* yang telah dibuat sebelumnya. Pada bagian ini diatur juga berapa maksimum iterasi yang diperlukan ketika akan melakukan *running* model. Iterasi adalah parameter atau batas yang mengontrol ketika *software* melakukan *running* hingga didapat hasil yang konvergen, konvergen kriteria adalah perbedaan dari tebakan atau prediksi dengan hasil akhir proses *running*. Bagian ini akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab *solver*.

Setelah pengaturan pada *mesh* selesai dilakukan, maka langkah terakhir yang harus dilakukan pada tahap *pre-processor* ini adalah *setting the solver control* yaitu pengaturan yang dilakukan agar nantinya model dapat di-*running* untuk dihitung hasilnya sesuai batas maksimum iterasi hingga didapat hasil yang konvergen. Dari pengaturan ini didapat file dengan

definisi *.def* untuk selanjutnya dilakukan proses *running*. Dari proses yang panjang dapat diketahui hasil dari tahap *pre-processor* yang digambarkan dengan gambar IV.14 di bawah ini.



Gambar IV-14 Hasil pada tahap *pre-processor*.

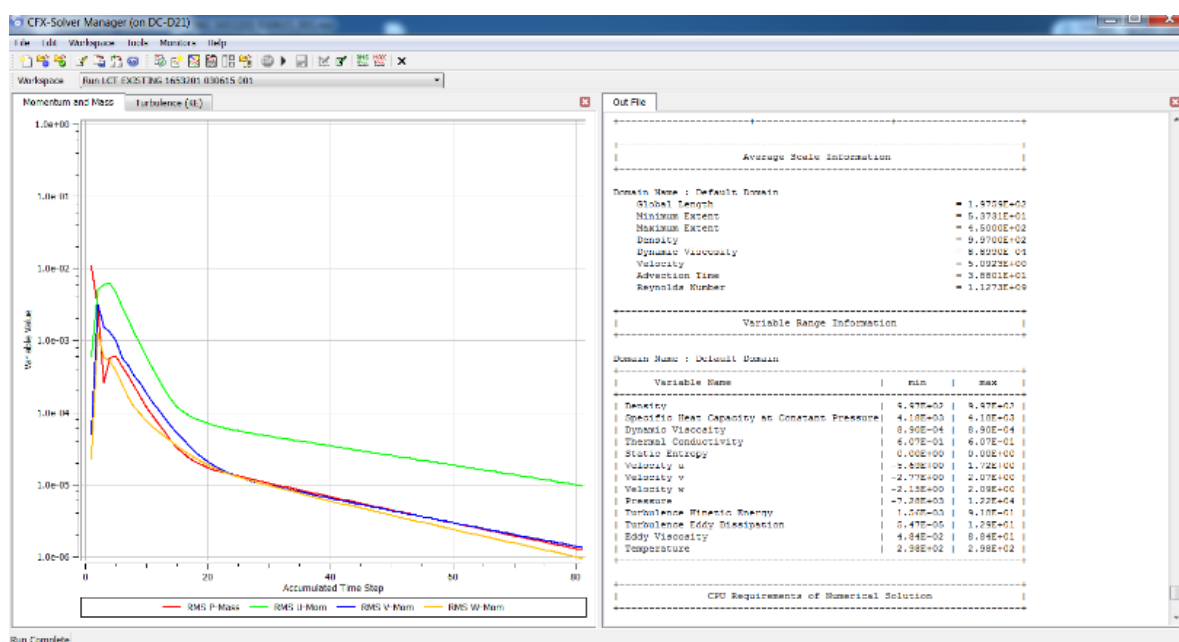
IV.3.3. Solver Manager

Kemudian, setelah melalui tahapan *pre-processor* dan didapat *file* dengan format *.def*. Selanjutnya *file* tersebut dirunning pada *solver*. Pada proses ini dilakukan *iterasi* sebanyak 200. Jumlah *iterasi* tidak ditentukan besarnya, dapat dimasukkan sembarang *iterasi* karena proses *running* akan berhenti secara otomatis ketika perhitungan telah konvergen meskipun belum mencapai batas maksimal *iterasi*.

Jika proses *running* belum berhenti meski telah melewati batas maksimal *iterasi* maka proses itu dapat dikatakan gagal dan proses *running* harus diberhentikan dan mengubah kembali nilai *iterasi* maksimal pada tahapan *pre-processor*. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah nilai *iterasi* terlalu kecil dan *meshing* yang terlalu rapat sehingga membutuhkan proses *running* yang lebih lama.

Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan *acumulated time step* sesuai dengan nilai *iterasi* yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan *variable vellue* (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai 10^{-6} yang ditentukan pada saat tahap *pre-processor* dan berdasarkan penelitian sebelumnya pada simulasi ini ditentukan batas

variable value adalah 10^{-5} (Anggara, 2013). Pada tahapan ini berguna untuk mengatur tingkat *error* dari simulasi yang dilakukan, pengaturan tingkat *error* tersebut dipengaruhi oleh nilai *iterasi*, proses *running* juga dipengaruhi oleh nilai *variable value*. Semakin kecil nilai *variable value* maka proses *running* akan semakin lama dan semakin akurat. Proses *running* selesai ketika semua kurva didalam grafik telah melewati batasan dari nilai *variable value*. Untuk lebih jelasnya maka proses *running* dapat digambarkan dengan grafik sesuai dengan Gambar IV-15 di bawah ini.



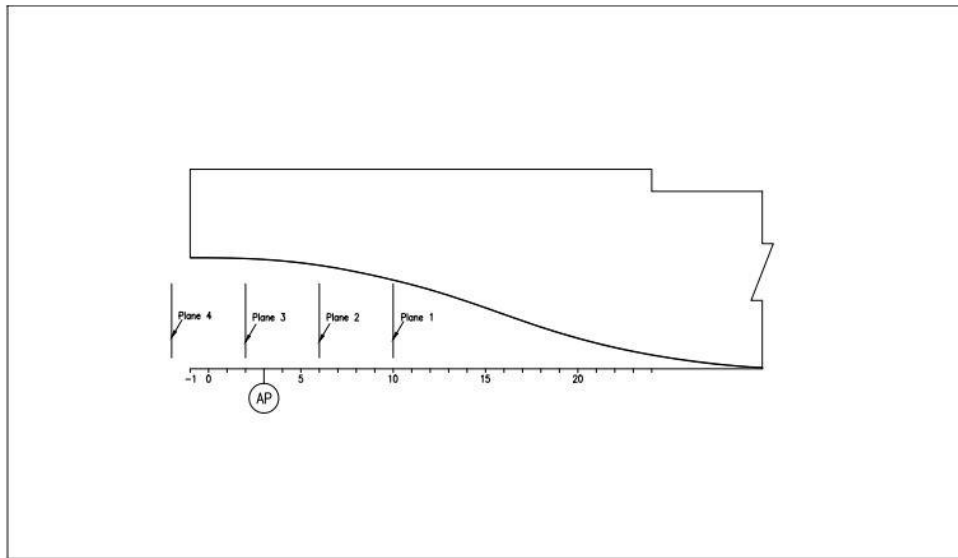
Gambar IV-15 Grafik proses *running* pada tahapan *solver*.

IV.3.4. Post Processor

Setelah melalui proses iterasi dan melakukan running pada tahap solver, parameter-parameter atau variabel yang diperlukan untuk melakukan proses analisa model kapal akan diperoleh pada tahapan *post-processor*. Parameter tersebut diantara adalah *creating velocity vector plots*. Pada bagian ini ditentukan lokasi area yang akan dianalisa, area ini dinamakan dengan *plane*.

Pada penelitian ini lokasi *plane* berada dibagian buritan kapal dan *plane* berbentuk menyerupai *propeller* baik itu lokasi dan ukuran diameternya karena analisa yang akan dilakukan nantinya bertujuan untuk menganalisa buritan dan sistem propulsinya. Lokasi *plane* sendiri dibuat berbeda yaitu dibagi menjadi 4 (empat) tempat. *Plane 1* berada di 1 diameter di depan *plane 2*, *plane 2* merupakan *propeller plane*. *Plane 2* terletak di 3 m di depan AP, *plane 3* berada 1 diameter dibelakang *plane 2*, dan *plane 4* berlokasi 1 diameter dari *plane 3*. Lokasi

plane pada bagian buritan kapal yang menjadi fokus lokasi pengamatan dapat dilihat pada gambar IV-16 di bawah ini.



Gambar IV-16 Lokasi *plane* yang diteliti.

Pada *plane* juga dimasukkan variabel yang berpengaruh di area tersebut, contohnya: *water velocity*. *Water velocity* dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan air dalam hal ini kecepatan air sama dengan kecepatan model kapal.

Setelah penentuan bentuk dan lokasi *plane* selesai dilakukan, berikutnya adalah memasukkan parameter-parameter yang berpengaruh terhadap proses simulasi pada tahapan *post-processor*. Hasil dari parameter-parameter ini nantinya akan digambarkan pada permukaan *plane* yang mempunyai nilai tertentu dan nantinya akan dianalisa menjadi nilai kecepatan aliran dibagian buritan kapal. Parameter-parameter yang dimaksudkan disini adalah *vector* dari kecepatan, *streamline*, tekanan, gaya, temperatur dan *contour*.

Setelah semua parameter selesai dimasukkan, maka hasil dari tahapan *post-processor* ini tampak pada bagian permukaan *plane*. Dengan bantuan fitur atau parameter *contour* maka tampak dibagian permukaan *plane* memiliki variasi warna, pada tiap warna memiliki nilai yang berbeda, dari macam-macam warna inilah nantinya akan dianalisa nilai kecepatan air, artinya *contour* mewakili nilai kecepatan kapal pada lokasi *plane* tersebut. Warna *contour* tersebut juga menunjukkan persebaran nilai kecepatan aliran yang melewati *plane* yang dianalisa.

Untuk membantu mengetahui nilai kecepatan rata – rata aliran pada *plane* yang dianalisis, maka digunakan *tool* yang bernama *function calculator*. Dengan *function calculator* ini dapat menampilkan nilai kecepatan aliran yang melewati *plane* tersebut. Dengan memasukkan lokasi *plane* yang akan dianalisa dan memasukkan parameter, yaitu *water velocity* maka akan didapat nilai dari kecepatan aliran yang melewati *plane* tersebut.

IV.4. Proses Validasi

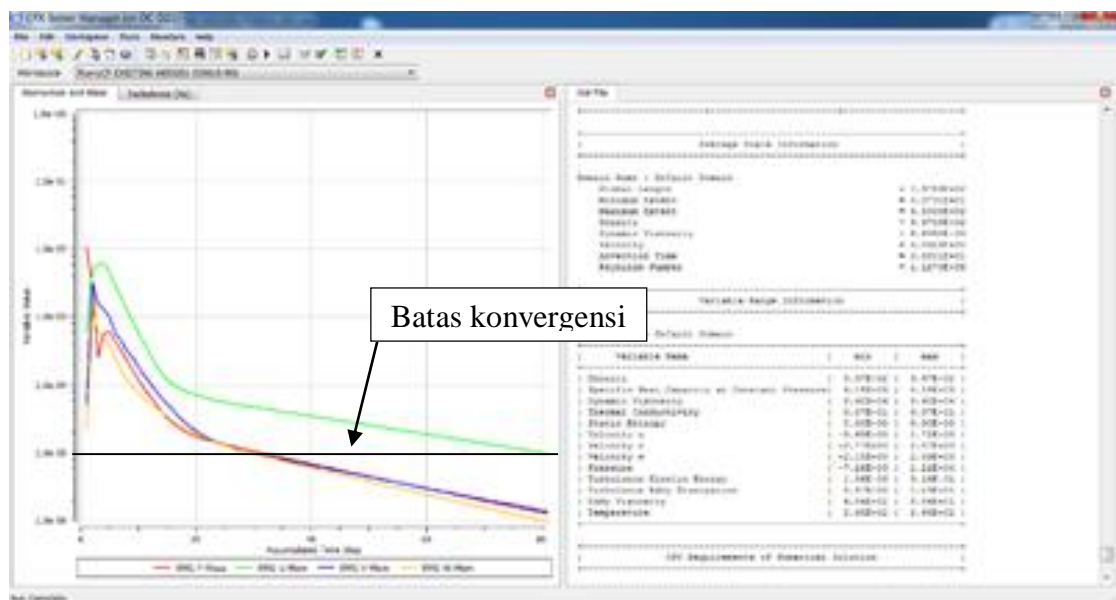
Untuk mengetahui keakuratan metode dan hasil dari simulasi CFD yang kita peroleh, maka perlu dilakukan proses validasi. Ada 2 proses dalam validasi hasil yaitu:

1. *Convergence*

Merupakan pengaturan persamaan *solver control* untuk meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh.

Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah grid yang dipakai dalam permodelan maka semakin banyak pula iterasi yang diperlukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas *convergence* yang telah ditentukan.

Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence criteria* yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan *Ansys CFX* adalah 10^{-5} (lihat gambar IV-17). Yang artinya proses perhitungan atau *running* akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan seperti disebutkan pada gambar IV-12 mencapai hasil tingkat *error* sebesar 10^{-5} .



Gambar IV-17 Batas konvergen iterasi.

2. *Grid independence*

Sebelum melangkah ke bagian analisis, penulis perlu memastikan bahwa metode simulasi CFD yang digunakan adalah benar yaitu melalui validasi. *Grid independence* merupakan langkah proses validasi. Proses validasi ini akan menunjukkan keakuratan hasil simulasi yang telah dilakukan.

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa hasil yang ditampilkan oleh CFD sangat tergantung pada ukuran *meshing* dari model. Semakin kecil ukuran *mesh* maka jumlah elemen model yang terbentuk semakin banyak. Jumlah elemen yang besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya. Semakin banyak jumlah elemen, proses *running* yang dibutuhkan juga semakin lama. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang banyak menjamin optimalisasi simulasi.

Proses simulasi dapat dinilai optimal tidak hanya karena hasil yang akurat, melainkan juga waktu yang digunakan dapat dibatasi. Penggunaan waktu yang minimum dapat diatur melalui pemilihan jumlah elemen. Waktu yang dibutuhkan untuk proses *running* sesuai dengan jumlah elemen pada model. Semakin besar jumlah elemen model, semakin lama juga waktu yang dibutuhkan untuk proses *running*. Kecepatan proses *running* juga dipengaruhi oleh spesifikasi dari komputer yang dipakai. Semakin tinggi spesifikasi komputer yang digunakan dalam proses *running* maka semakin cepat pula waktu yang dibutuhkan oleh program untuk menyelesaikan proses *running*.

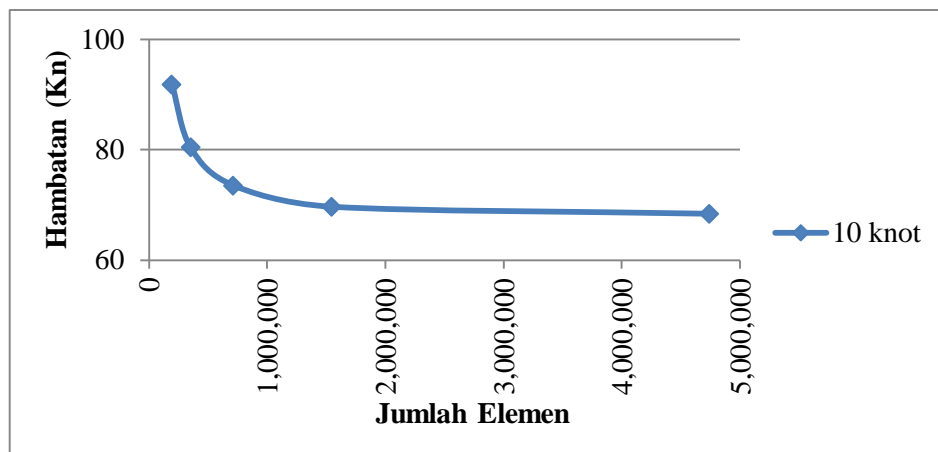
Namun perlu diingat bahwa jumlah elemen juga mempengaruhi hasil. Hal yang dilakukan adalah melaksanakan simulasi secepat mungkin dengan hasil seakurat mungkin. Kondisi tersebut adalah kondisi titik optimum simulasi. Titik optimum simulasi digambarkan sebagai berikut. CFD sudah dapat menjangkau nilai dari hasil yang akurat pada jumlah elemen tertentu, dan apabila jumlah elemen diperbanyak maka hasil yang diperoleh tidak akan jauh berbeda. Keuntungan pemilihan elemen optimum juga menjadi pertimbangan keterbatasan kemampuan computer yang terbatas.

Berikut ini adalah hasil *Grid independence* yang dilakukan pada proses simulasi dengan salah satu kondisi batas yaitu model bergerak pada kecepatan 10 knot dan nilai hambatan sebagai parameter hasil. Menurut Utama (2002) *Grid independence* mencapai posisi optimum apabila selisih perbedaan nilai hambatan antara suatu jumlah elemen dengan elemen sebelumnya kurang dari 2%.

Tabel IV.1 Pengaruh jumlah elemen terhadap hasil simulasi.

Simulasi ke-	1	2	3	4	5
Jumlah elemen	193199	350301	712090	1545216	4741734
Hambatan Total [KN]	91.9423	80.4705	73.5516	69.6696	68.3983
Selisih (%)	-	14.25	9.40	5.57	1.85

Dari tabel IV.1 diatas dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah elemen pada model berbanding terbalik dengan nilai hambatan pada model tersebut. Dari 5 (lima) kali percobaan didapatkan selisih hambatan total pada model sebesar 1,85%.



Gambar IV-18 Grid independence study.

Gambar IV.18 diatas adalah grafik dari tabel IV.1 yang menunjukkan penurunan nilai hambatan berbanding terbalik dengan peningkatan jumlah elemen. Pada simulasi ke 4 (empat) dan 5 (lima), didapat selisih nilai hambatan kurang dari 2%. Ini menunjukkan bahwa posisi *grid independence* sudah mencapai titik optimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB V

HASIL SIMULASI MODEL

V.1. Pendahuluan

Dari proses simulasi model menggunakan *software* ANSYS CFD, akan didapatkan hasil berupa nilai kecepatan aliran diburitan kapal untuk selanjutnya akan dilakukan analisa. Kecepatan ini nantinya berpengaruh terhadap besarnya *wake* dan kecepatan aliran yang memasuki *propeller*. *Wake* sendiri merupakan perbedaan antara kecepatan kapal dengan kecepatan aliran yang menuju *propeller*.

Pada bab V ini nantinya akan dibagi menjadi 3 (tiga) bagian penting dari hasil simulasi yaitu simulasi model kapal tanpa *tunnel stern*, simulasi model dengan *tunnel stern*, dan perbandingan model kapal tanpa *tunnel stern* dengan model kapal yang menggunakan *tunnel stern*. Pada simulasi model dengan menggunakan *software CFD Package* diberikan beberapa variasi untuk mendapatkan hasil yang bervariasi sehingga diharapkan hasil yang diperoleh nantinya menjadi lebih maksimal.

Variasi yang dilakukan dalam proses simulasi ini adalah berupa variasi kecepatan dan variasi lokasi *plane* yang akan dianalisa. Variasi kecepatan yang dilakukan adalah 4 (empat) variasi kecepatan yaitu 4 knot (2.06 m/s), 6 knot (3.09 m/s), 8 knot (4.12 m/s), dan 10 knot (5.14 m/s) yang diberlakukan pada tiap variasi *plane*. Variasi lokasi *plane* yang dianalisa adalah pada 4 (empat) lokasi yang berbeda yaitu *plane* 1 pada 1 diameter di depan lokasi *propeller*, *plane* 2 adalah *propeller plane* yaitu *plane* yang mewakili lokasi *propeller*, *plane* 3 dibelakang *plane* 2 sejauh 1 diameter dan *plane* 4 dibelakang *plane* 3 sejauh 1 diameter. Untuk lebih jelasnya, lokasi *plane* digambarkan seperti pada gambar IV-16.

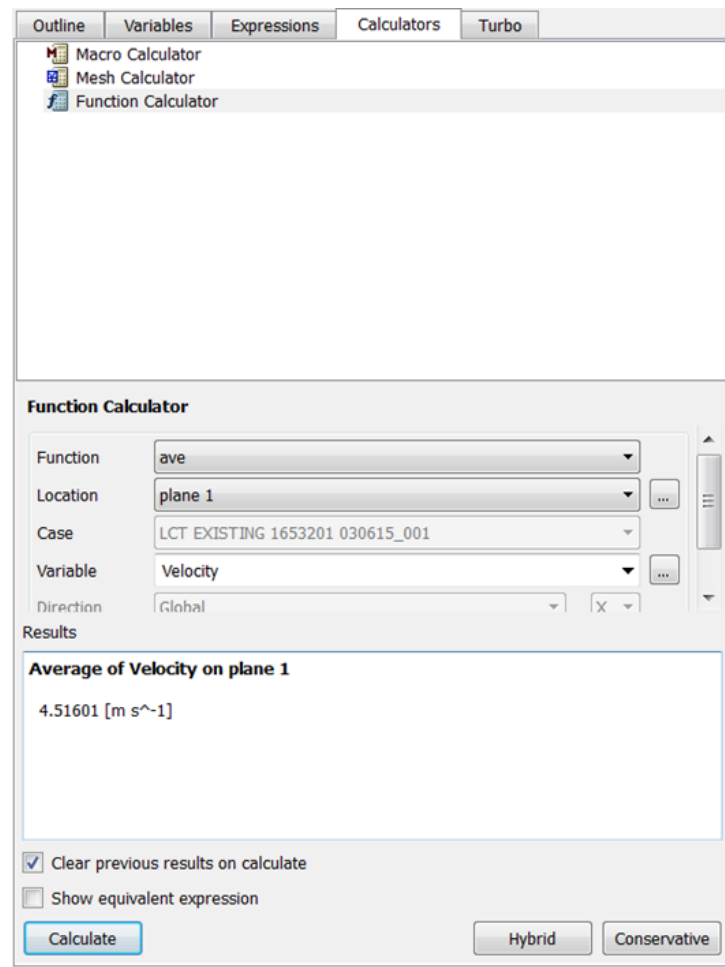
V.2. Model Kapal Existing

V.2.1. Umum

Dari simulasi yang telah dilakukan pada model kapal *existing* didapatkan hasil berupa visualisasi variasi warna pada permukaan *plane* yang dibagi menjadi 4 (empat) lokasi *plane* 1 pada 1 diameter di depan lokasi *propeller*, *plane* 2 adalah *propeller plane* yaitu *plane* yang mewakili lokasi *propeller*, *plane* 3 dibelakang *plane* 2 sejauh 1 diameter dan *plane* 4 dibelakang

plane 3 sejauh 1 diameter. Diameter *plane* disesuaikan berdasarkan diameter *propeller* yang sebenarnya yaitu 2 meter.

Untuk menganalisa masing-masing *plane* tersebut adalah menggunakan *tool function calculator* pada tahap *Post Processor*. Dengan memasukkan parameter *ave* pada kolom *function*, lalu lokasi *plane* yang akan dihitung kecepatan rata – rata aliran, dan memasukkan variabel *velocity* sebagai parameter perhitungan. Dari *tool* tersebut dapat diketahui nilai dari kecepatan aliran pada masing-masing *plane* pada tiap model.



Gambar V-1 Tool Function Calculator pada tahap *post processor*.

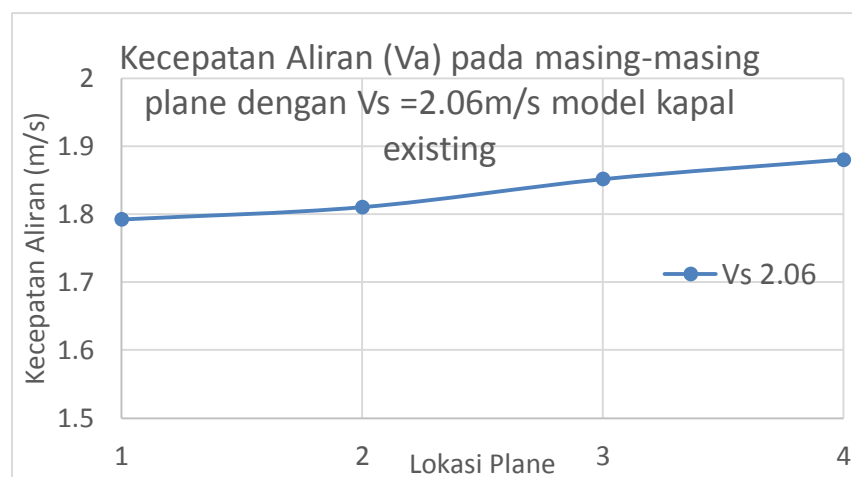
V.2.2. Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4, dengan $V_s=2.06$ m/s

Pada model kapal *existing* ini nantinya akan dianalisa 4 (empat) *plane* dengan 4 (empat) variasi kecepatan yang berbeda. Jadi tiap *plane* memiliki empat variasi kecepatan. Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s=2.06$ m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Tabel V.1 di bawah ini.

Tabel V.1 Hasil analisa masing-masing Plane dengan $V_s = 2.06$ m/s pada model kapal *existing*.

V_s (m/s)	V_a (m/s)			
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4
2.06	1.79232	1.81052	1.85167	1.88

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 2.06 m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Gambar V-2 di bawah ini.



Gambar V-2 Grafik kecepatan aliran pada model kapal *existing* dengan $V_s = 2.06$ m/s.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 2.06 m/s, aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane* 1 hingga *plane* 4.

V.2.3. Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4, dengan $V_s = 3.09$ m/s

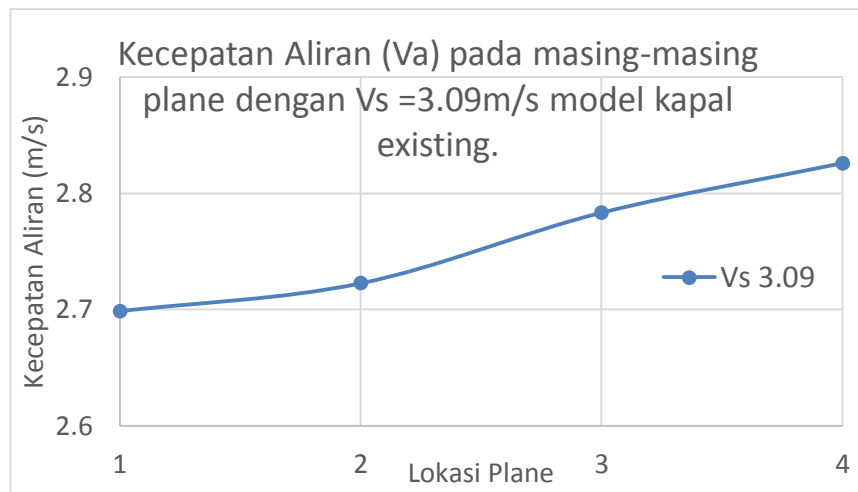
Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s = 2.06$ m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Tabel V.2 di bawah ini.

Tabel V.2 Hasil analisa masing-masing Plane dengan $V_s = 3.09$ m/s pada model kapal *existing*.

V_s (m/s)	V_a (m/s)			
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4
3.09	2.69865	2.72258	2.78326	2.83

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi.

Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 3.09 m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Gambar V-3 di bawah ini.



Gambar V-3 Grafik kecepatan aliran pada model kapal *existing* dengan $V_s = 3.09 \text{ m/s}$.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 3.09 m/s, aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane* 1 hingga *plane* 4. Sedikit berbeda dengan hasil simulasi dengan kecepatan kapal (V_s) = 2.06 m/s, pada simulasi dengan kecepatan kapal (V_s) = 3.09 mengalami peningkatan yang lebih tinggi pada tiap – tiap plane.

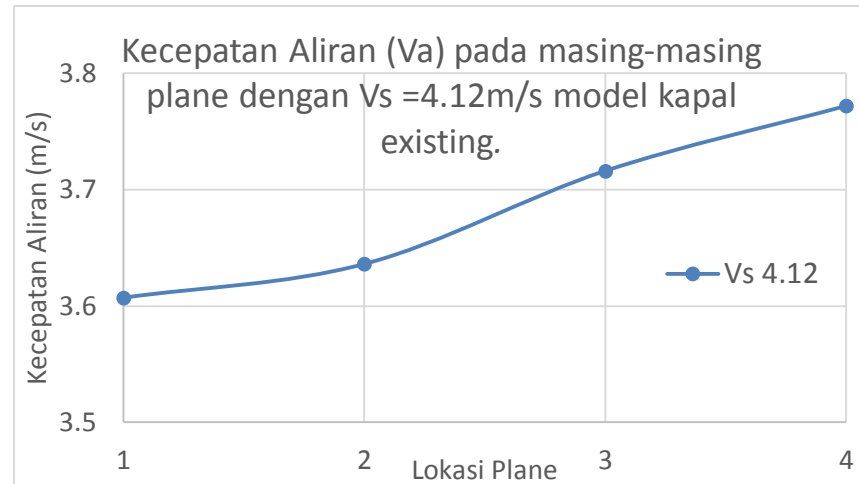
V.2.4. Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4, dengan $V_s = 4.12 \text{ m/s}$

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s = 4.12 \text{ m/s}$ pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Tabel V.3 di bawah ini.

Tabel V.3 Hasil analisa masing-masing *Plane* dengan $V_s = 4.12 \text{ m/s}$ pada model kapal *existing*.

$V_s \text{ (m/s)}$	$V_a \text{ (m/s)}$			
	<i>Plane 1</i>	<i>Plane 2</i>	<i>Plane 3</i>	<i>Plane 4</i>
4.12	3.60715	3.63614	3.71613	3.77

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 4.12 m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Gambar V-4 di bawah ini.



Gambar V-4 Grafik kecepatan aliran pada model kapal *existing* dengan $V_s = 4.12 \text{ m/s}$.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 4.12 m/s , aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane* 1 hingga *plane* 4. Perubahan kecepatan aliran setelah melewati tiap – tiap *plane* hampir sama dengan hasil simulasi pada kapal dengan kecepatan (V_s) = 3.06 m/s . Terjadi lonjakan kecepatan setelah melalui *plane* 2 menuju *plane* 3, hingga *plane* 4.

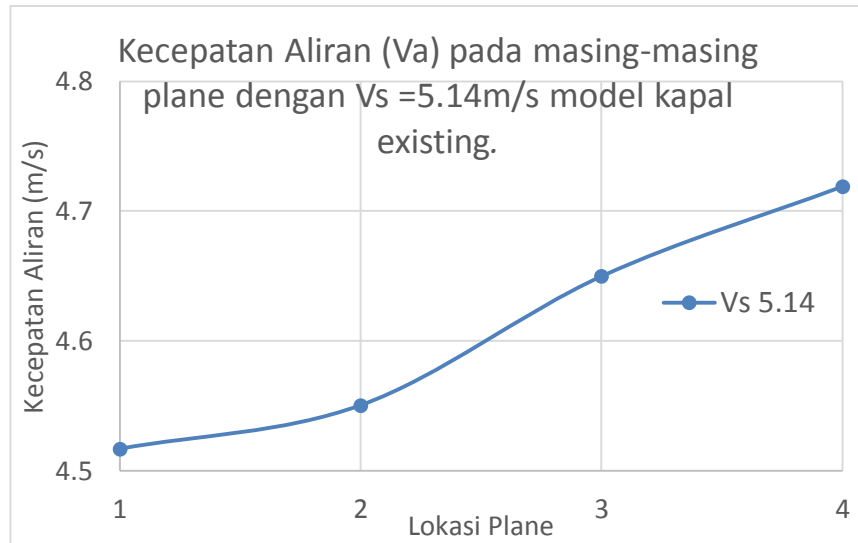
V.2.5. Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4, dengan $V_s = 5.14 \text{ m/s}$

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s = 5.14 \text{ m/s}$ pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Tabel V.4 di bawah ini.

Tabel V.4 Hasil analisa masing-masing *Plane* dengan $V_s = 5.14 \text{ m/s}$ pada model kapal *existing*.

$V_s \text{ (m/s)}$	$V_a \text{ (m/s)}$			
	<i>Plane 1</i>	<i>Plane 2</i>	<i>Plane 3</i>	<i>Plane 4</i>
5.14	4.51714	4.55069	4.64985	4.72

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 5.14 m/s pada model kapal *existing* dapat dilihat pada Gambar V-5 di bawah ini.



Gambar V-5 Grafik kecepatan aliran pada model kapal *existing* dengan $V_s=5.14$ m/s.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 5.14 m/s, aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane* 1 hingga *plane* 4. Perubahan kecepatan aliran setelah melewati tiap – tiap *plane* sedikit berbeda dengan hasil simulasi pada kapal dengan kecepatan (V_s) = 4.12 m/s. Terjadi lonjakan kecepatan yang lebih tinggi setelah melalui *plane* 2 menuju *plane* 3, hingga *plane* 4.

V.3. Model Kapal + *Tunnel stern*

V.3.1. Umum

Penambahan *tunnel stern* adalah dimaksudkan untuk mengatasi salah satu permasalahan pada bentuk buritan kapal *existing* yaitu sempitnya ruangan pada buritan kapal yang bersarat rendah dan tetap memiliki performa yang bagus, dilihat dari efisiensi sistem propulsi. Berikut adalah hasil analisa pada masing-masing *plane* pada 4 variasi kecepatan.

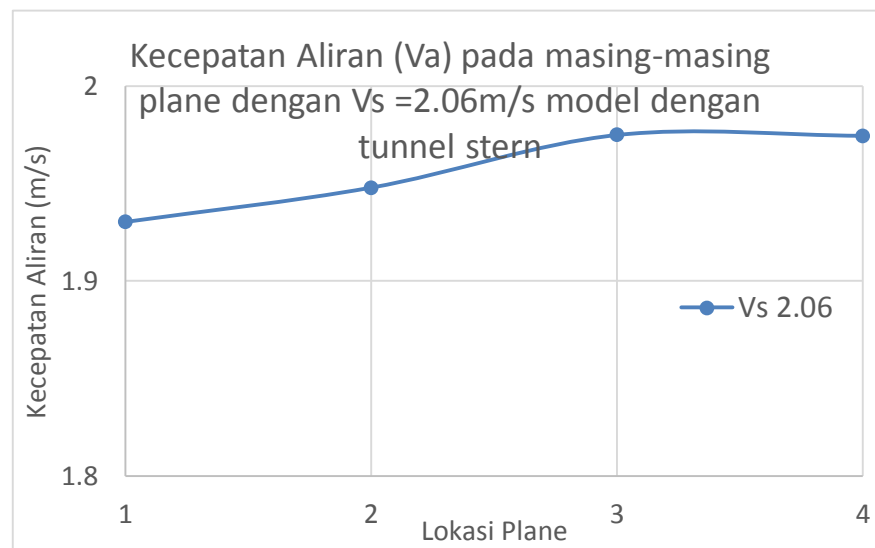
V.3.2. *Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4*, dengan $V_s=2.06$ m/s

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s=2.06$ m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Tabel V.5 di bawah ini.

Tabel V.5 Hasil analisa masing-masing Plane dengan $V_s = 2.06\text{m/s}$ pada model kapal dengan *tunnel stern*.

V_s (m/s)	V_a (m/s)			
	Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4
2.06	1.93029	1.94789	1.97489	1.9745

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 2.06 m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Gambar V-6 di bawah ini.



Gambar V-6 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan *tunnel stern* pada $V_s = 2.06\text{ m/s}$.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 2.06 m/s, aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane 1*, *plane 2*, menuju *plane 3*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane 1* hingga *plane 3* dan sedikit menurun pada *plane 4*. Tidak seperti hasil simulasi pada model kapal tanpa *tunnel stern* yang selalu meningkat hingga *plane 4*.

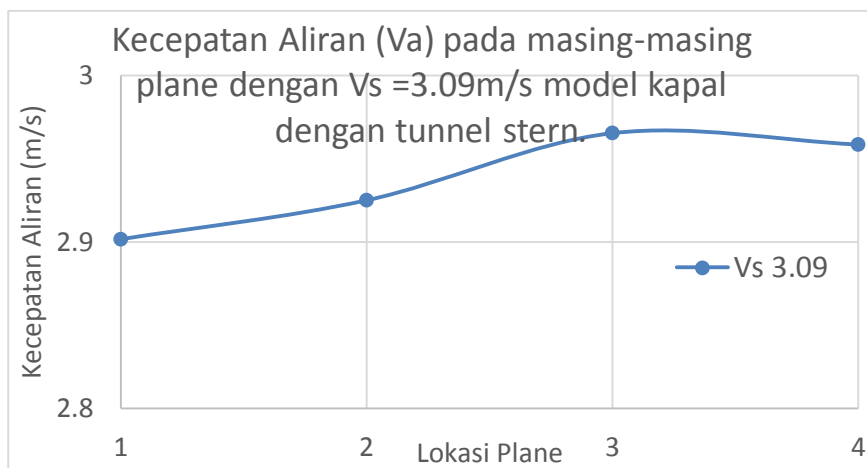
V.3.3. Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4, dengan $V_s = 3.09\text{ m/s}$

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal 3.09 m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Tabel V.6 di bawah ini.

Tabel V.6 Hasil analisa masing-masing *Plane* dengan $V_s = 3.09\text{m/s}$ pada model kapal dengan *tunnel stern*.

V_s (m/s)	V_a (m/s)			
	<i>Plane 1</i>	<i>Plane 2</i>	<i>Plane 3</i>	<i>Plane 4</i>
3.09	2.90159	2.92495	2.96527	2.95843

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 3.09 m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Gambar V-7 di bawah ini.

Gambar V-7 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan *tunnel stern* pada $V_s = 3.09\text{ m/s}$.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 3.06 m/s , aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane 1*, *plane 2*, menuju *plane 3*. Namun tidak terlalu besar peningkatan kecepatan aliran yang terjadi antar masin – masing *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane 1* hingga *plane 3* dan sedikit menurun pada *plane 4*. Tidak seperti hasil simulasi pada model kapal tanpa *tunnel stern* yang selalu meningkat hingga *plane 4*.

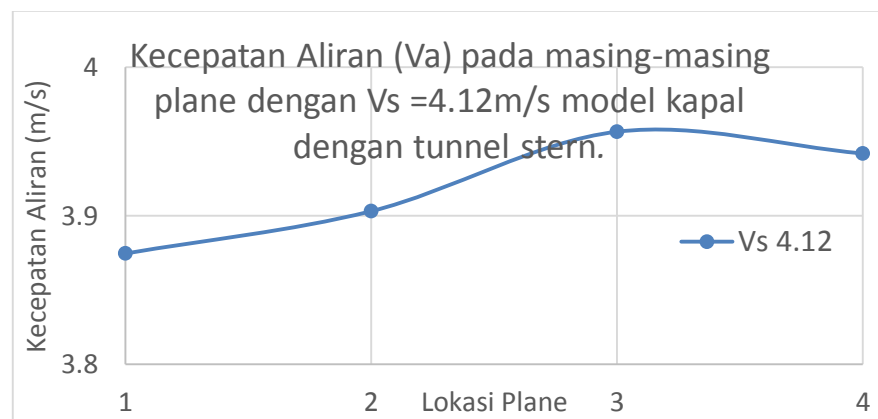
V.3.4. *Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4*, dengan $V_s = 4.12\text{ m/s}$

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s = 4.12\text{ m/s}$ pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Tabel V.7 di bawah ini.

Tabel V.7 Hasil analisa masing-masing Plane dengan $V_s = 4.12\text{m/s}$ pada model kapal dengan *tunnel stern*.

$V_s \text{ (m/s)}$	$V_a \text{ (m/s)}$			
	<i>Plane 1</i>	<i>Plane 2</i>	<i>Plane 3</i>	<i>Plane 4</i>
4.12	3.87448	3.90303	3.9566	3.94194

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 4.12 m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Gambar V-8 di bawah ini.



Gambar V-8 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan *tunnel stern* pada $V_s=4.12 \text{ m/s}$.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 4.12 m/s , aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane 1*, *plane 2*, menuju *plane 3*. Namun tidak terlalu besar peningkatan kecepatan aliran yang terjadi antar mesin – masing *plane*. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane 1* hingga *plane 3* dan sedikit menurun pada *plane 4*. Tidak seperti hasil simulasi pada model kapal tanpa *tunnel stern* yang selalu meningkat hingga *plane 4*.

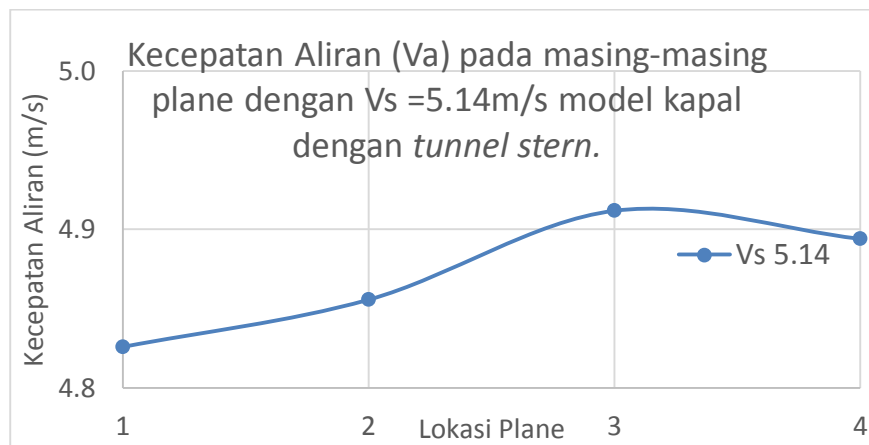
V.3.5. *Plane 1, plane 2, plane 3, plane 4*, dengan $V_s=5.14 \text{ m/s}$

Hasil dari analisa kecepatan aliran yang dihitung dengan bantuan *tool function calculator* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal $V_s=5.14 \text{ m/s}$ pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Tabel V.8 di bawah ini.

Tabel V.8 Hasil analisa masing-masing *Plane* dengan $V_s = 5.14$ m/s pada model kapal dengan *tunnel stern*.

V_s (m/s)	V_a (m/s)			
	<i>Plane 1</i>	<i>Plane 2</i>	<i>Plane 3</i>	<i>Plane 4</i>
5.14	4.82582	4.85561	4.91171	4.89402

Dari data hasil pembacaan kecepatan aliran pada masing – masing *plane* seperti tabel diatas, dibuatlah grafik agar mudah dalam menganalisa perubahan kecepatan yang terjadi. Grafik dari hasil analisa kecepatan aliran di masing-masing lokasi *plane* dengan kecepatan kapal 5.14 m/s pada model kapal dengan *tunnel stern* dapat dilihat pada Gambar V-9 di bawah ini.



Gambar V-9 Grafik kecepatan aliran pada model kapal dengan *tunnel stern* pada $V_s = 5.14$ m/s.

Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan kecepatan model 5.14 m/s, aliran yang bergerak menuju bagian buritan kapal mengalami perubahan kecepatan. Dari grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran yang melewati *plane 1*, *plane 2*, menuju *plane 3*. Namun tidak terlalu besar peningkatan kecepatan aliran yang terjadi antar masin – masing plane. Kecepatan aliran semakin membesar mulai dari *plane 1* hingga *plane 3* dan sedikit menurun pada *plane 4*. Tidak seperti hasil simulasi pada model kapal tanpa *tunnel stern* yang selalu meningkat hingga *plane 4*.

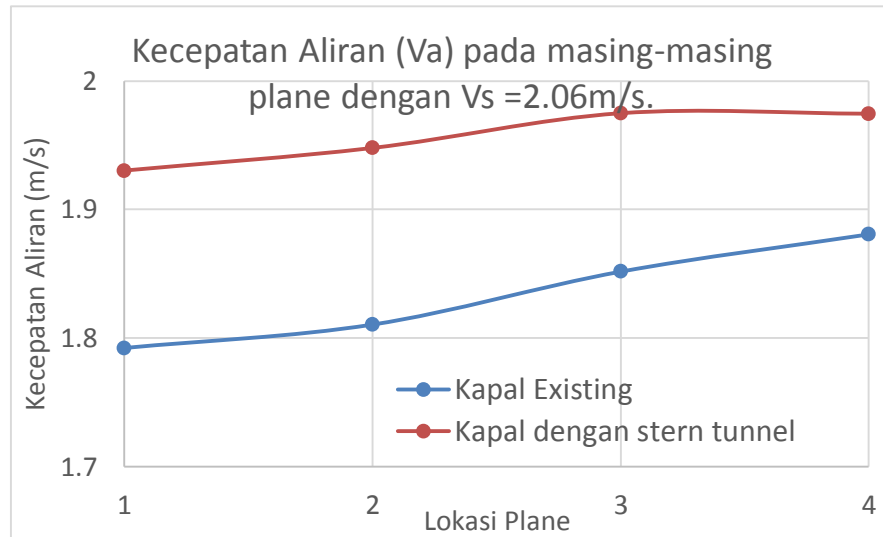
V.4. Perbandingan Model Kapal *Existing* dengan Kapal + *Tunnel stern*

V.4.1. Umum

Setelah didapatkan hasil dari simulasi model, maka langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil keduanya dan menganalisa perubahan apa yang terjadi pada kedua model tersebut. Perbandingan ini digambarkan dalam grafik yang membandingkan masing-masing *plane* dari kedua model pada tiap variasi kecepatan.

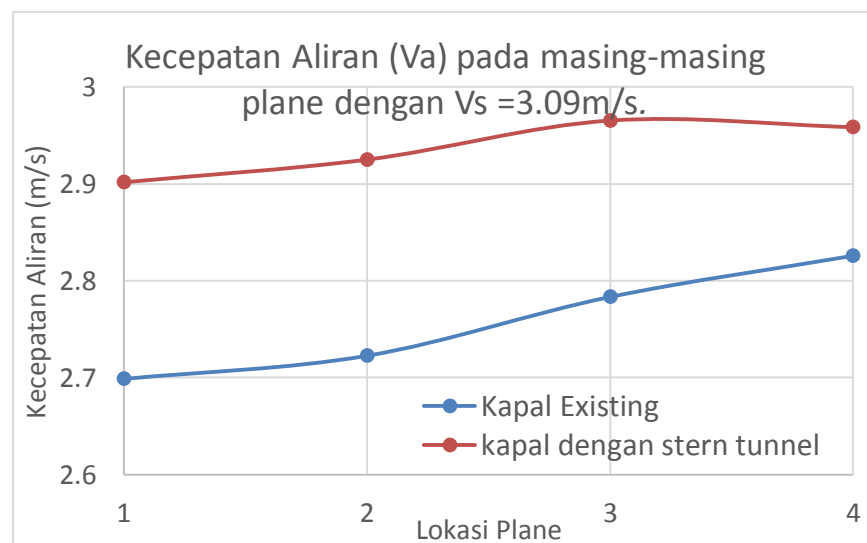
V.4.2. Perbandingan nilai V_a Model Kapal *Existing* dengan Kapal + *Tunnel stern*

Grafik perbandingan kecepatan aliran model kapal *existing* dengan model kapal *tunnel stern* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal 2.06 m/s ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



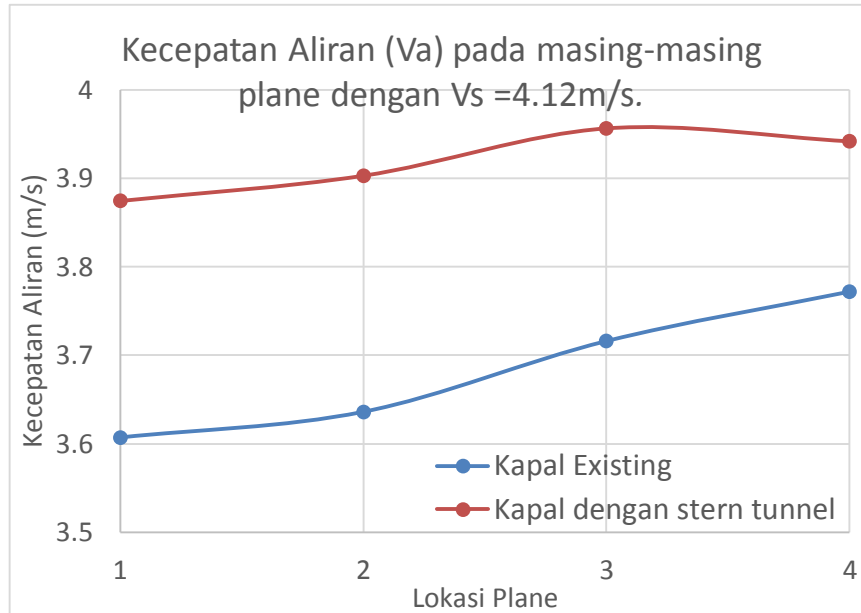
Gambar V-10 Perbandingan grafik pada masing-masing *plane* dengan $V_s = 2.06 \text{ m/s}$.

Dari kurva diatas dapat diketahui bahwa kecepatan aliran pada kapal dengan *tunnel stern* lebih tinggi daripada kapal tanpa *tunnel stern*. Namu pada *plane* 4, kapal dengan *tunnel stern* mengalami penurunan kecepatan aliran. Berbeda dengan kapal tanpa *tunnel stern* yang tetap mengalami peningkatan kecepatan aliran pada *plane* 4. Grafik perbandingan kecepatan aliran model kapal *existing* dengan model kapal *tunnel stern* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal 3.09 m/s ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



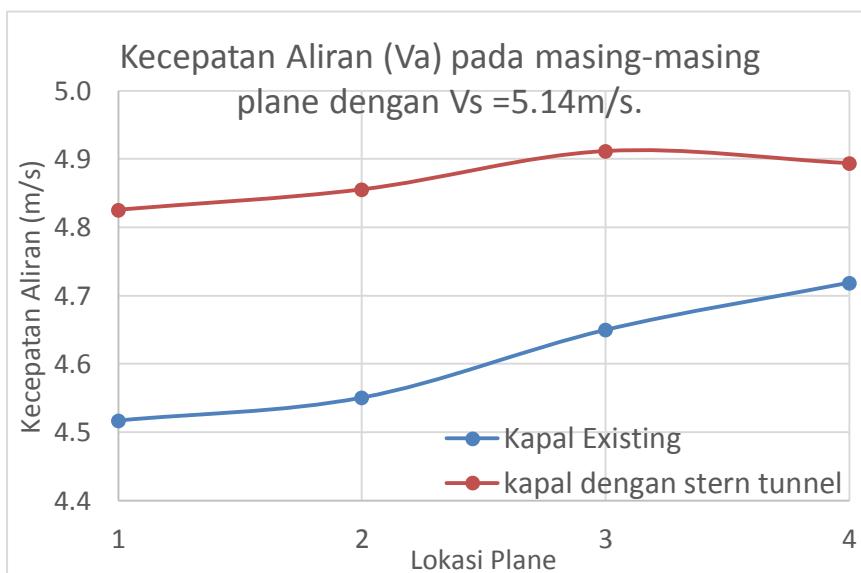
Gambar V-11 Perbandingan grafik pada masing-masing *plane* dengan $V_s = 3.09 \text{ m/s}$.

Grafik perbandingan kecepatan aliran model kapal *existing* dengan model kapal *tunnel stern* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal 4.12 m/s ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar V-12 Perbandingan grafik pada masing-masing *plane* dengan $V_s = 4.12 \text{ m/s}$.

Grafik perbandingan kecepatan aliran model kapal *existing* dengan model kapal *tunnel stern* di masing-masing *plane* dengan kecepatan kapal 5.14 m/s ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar V-13 Perbandingan grafik pada masing-masing *plane* dengan $V_s = 5.14 \text{ m/s}$.

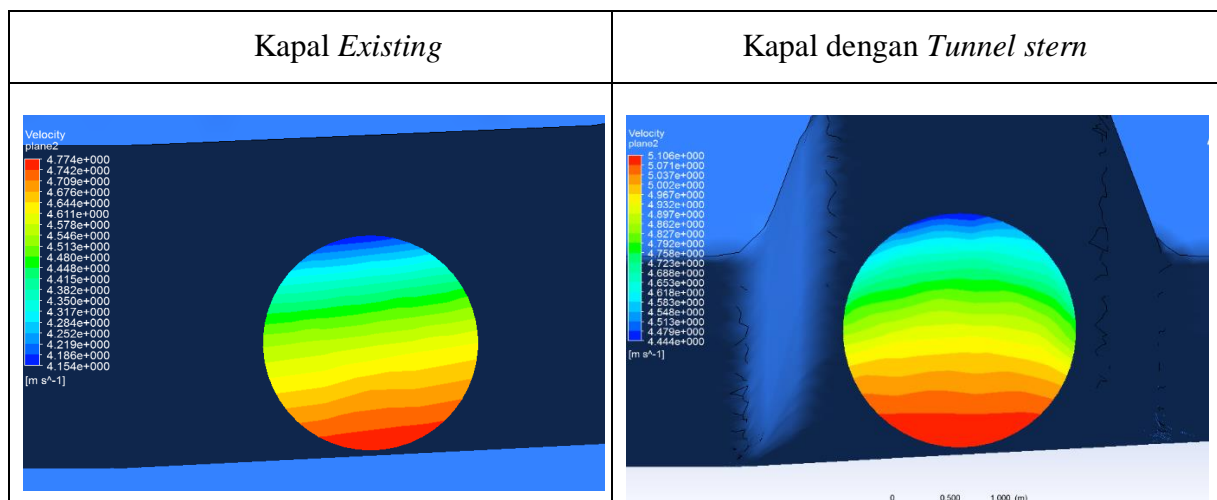
Dari perbandingan kurva diatas dapat dilihat jika pada masing-masing *plane* mengalami perubahan kecepatan. Terlihat pada *plane* 1 terjadi peningkatan kecepatan aliran paling tinggi

daripada di *plane* yang lainnya. Pada kapal *existing* terjadi peningkatan kecepatan aliran pada *plane* 1 hingga *plane* 4. Begitu juga dengan kapal dengan *tunnel stern*, namun terjadi perbedaan pada *plane* 4. Pada kapal dengan *tunnel stern* mengalami penurunan kecepatan aliran pada *plane* 3 menuju *plane* 4.

V.4.3. Perbandingan Distribusi Kecepatan Aliran pada *plane* 2 dengan $V_s=5.14$ m/s

Kecepatan aliran yang menuju *propeller* pada 0.2R, 0.4R, 0.6R, 0.8R, dan 1R berbeda - beda. Perbedaan distribusi kecepatan pada *propeller* ini akan menyebabkan kinerja *propeller* menjadi tidak optimal. Sehingga diupayakan kecepatan aliran yang akan memasuki daerah *propeller* memiliki kecepatan aliran yang uniform. Untuk mengetahui distribusi kecepatan aliran yang akan memasuki daerah *propeller plane* untuk semua model akan dilakukan analisa aliran uniform pada *plane* 2 (*propeller plane*).

Dari hasil simulasi dengan *software* ansys CFD *package* maka akan dapat ditampilkan distribusi kecepatan aliran pada tiap *plane*. Namun akan dilakukan analisa pada *plane* 2 (dua) yang merupakan *propeller plane*. Untuk menampilkan visualisasi distribusi kecepatan pada *propeller plane* di kedua model, maka digunakan fitur *contour* pada tahap *post-processor*. Pada fitur *contour* dimasukkan variabel *velocity* untuk menunjukkan visualisasi dari kecepatan aliran yang melewati *plane* tersebut. Pada permukaan *plane* akan terlihat beberapa variasi warna. Warna tersebut mewakili distribusi kecepatan aliran yang melewati *plane* tersebut. Berikut adalah gambar visualisasi distribusi kecepatan pada *plane* 2 di kedua model dengan kecepatan 5.14 m/s.



Gambar V-14 Perbandingan visualisasi kecepatan aliran pada *plane* 2.

Dari visualisasi warna yang mewakili kecepatan aliran yang melalui *plane* tersebut menunjukkan bahwa pada *plane* model kapal *existing* memiliki kecepatan aliran maksimal pada bagian bawah *plane* dan kecepatan aliran paling rendah di bagian atas *plane*. Begitu juga dengan *plane* pada model kapal dengan *tunnel stern*. Bentuk variasi warna pada kedua *plane* tidak terlalu berbeda. Pada *plane* model kapal dengan *tunnel stern* sedikit lebih uniform daripada *plane* model kapal *existing*.

V.4.4. Ringkasan

Setelah dilakukan analisa terhadap hasil simulasi dengan *software* CFD, maka dapat dilakukan pembacaan hasil perbandingan nilai kecepatan aliran pada masing-masing *plane* dengan 4 variasi kecepatan pada model kapal *existing* dan model kapal dengan *tunnel stern*. Dari hasil pembacaan, dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran di buritan kapal setelah dilakukan penambahan *tunnel stern* pada model kapal *existing*. Ini menunjukkan bahwa, dengan menggunakan *tunnel stern* dapat mengurangi *wake fraction* sehingga kecepatan aliran (V_a) yang menuju *propeller* dapat meningkat.

Dengan adanya *tunnel stern*, maka aliran fluida yang menuju *propeller* akan terkumpul dalam *tunnel* dan melaju dengan *smooth* menuju *propeller*. Aliran yang melaju lebih *smooth* dan penurunan luas penampang aliran (karena aliran melalui *tunnel*) inilah yang menyebabkan kecepatan aliran lebih tinggi daripada model kapal tanpa *tunnel stern*. Ini terlihat dari visualisasi aliran pada buritan kapal yang memiliki perubahan warna yang halus. Berbeda dengan visualisasi aliran pada buritan kapal tanpa menggunakan *tunnel stern* (Lampiran B - 12).

Fenomena ini sesuai dengan prinsip *Bernouli* yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan kecepatan fluida disebabkan oleh penurunan tekanan pada aliran tersebut. Dan karena kapal ini menggunakan dua *propeller*, penggunaan *tunnel stern* ini memberikan efek seperti penggunaan *nozzle*. Sehingga tidak ada pengurangan efisiensi *propeller* akibat interaksi aliran yang dihasilkan *propeller* satu dengan yang lain. Fenomena ini akan meningkatkan efisiensi *propeller* sehingga nantinya akan meningkatkan efisiensi sistem propulsi.

Peningkatan kecepatan di buritan kapal terjadi seiring dengan peningkatan variasi kecepatan model yang dilakukan pada proses simulasi model kapal. Ini membuktikan bahwa *tunnel stern* dengan bentuk yang datar juga dapat meningkatkan kecepatan aliran yang menuju *propeller*. Sehingga model *tunnel stern* dengan bentuk yang datar dapat dikatakan lebih efisien daripada bentuk *tunnel stern* yang *round*, dengan dasar pertimbangan proses produksi dan tetap

dapat meningkatkan kecepatan aliran. Namun untuk distribusi kecepatan aliran pada *plane 2* di kedua model, tidak terjadi perubahan yang signifikan. Karakteristik distribusi kecepatan aliran hampir sama. Sehingga dari hasil simulasi, dapat diketahui bahwa penambahan *tunnel stern* memberikan dampak peningkatan kecepatan aliran di buritan kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VI

PERHITUNGAN EFISIENSI SISTEM PROPULSI DAN PEMBAHASAN

VI.1. Pendahuluan

Dalam rangka untuk meningkatkan efisiensi sistem propulsi pada kapal adalah salah satunya dengan menambahkan *tunnel stern*. *Tunnel stern* dapat memperbaiki aliran menuju *propeller*. Penggunaan *tunnel stern* dapat mengurangi *wake fraction* (Kulczyk, 2014). Dengan bertambahnya kecepatan kapal yang menggunakan *tunnel stern*, *wake fraction* mengalami penurunan. Dengan menurunnya *wake fraction*, maka akan meningkatkan *velocity advance* (V_a) yang akan berpengaruh pada efisiensi *propeller* yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Dan Kecepatan aliran pada buritan dapat meningkatkan efisiensi system propulsi (Prima, 2008).

Pada bab ini akan membahas mengenai perhitungan efisiensi sistem propulsi untuk menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran air di buritan kapal dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Dari hasil penelitian tentang *tunnel stern* yang sudah ada menunjukkan bahwa dengan menambahkan *tunnel stern* pada buritan kapal dapat meningkatkan performa kapal. Hasil penelitian tersebut mendukung penelitian penulis bahwa dengan menambahkan bentuk *tunnel stern* pada buritan kapal LCT ini juga dapat meningkatkan performa kapal, dalam hal ini adalah peningkatan efisiensi system propulsi. Adapun perhitungan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

VI.2. Perhitungan Efisiensi Propulsi

VI.2.1. Umum

Efisiensi system propulsi memiliki beberapa komponen, salah satunya adalah efisiensi *propeller*. Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan efisiensi *propeller* dari data *propeller* yang sudah ada, karena penelitian ini tidak melakukan desain *propeller*. Adapun data *propeller* yang akan dipakai pada kapal ini adalah sebagai berikut:

Diameter <i>Propeller</i> (D)	: 2000 mm
Jumlah Daun <i>Propeller</i>	: 4

$$A_E/A_O : 0.40$$

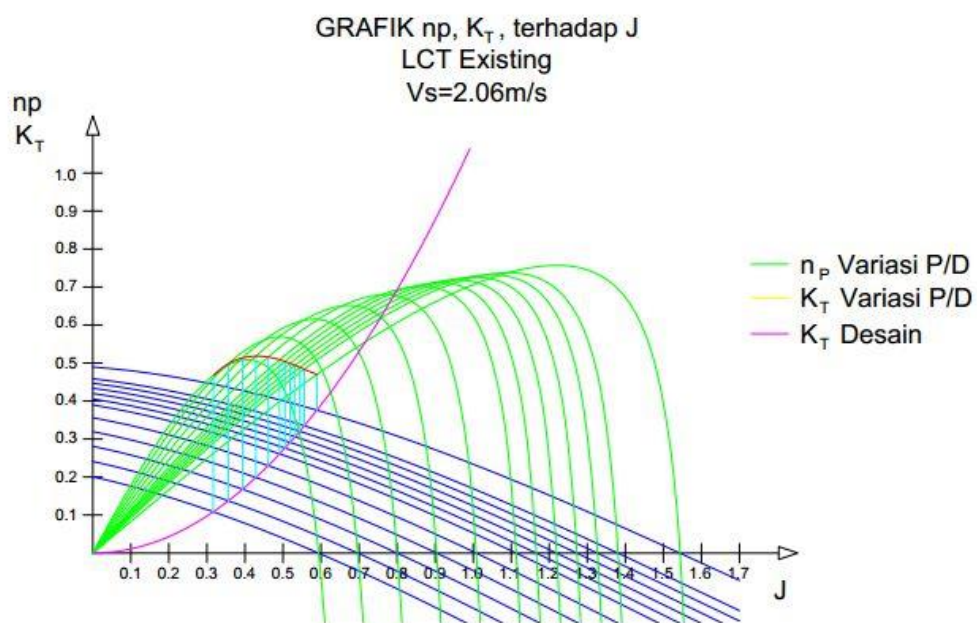
untuk mengetahui nilai dari efisiensi *propeller* perlu dilakukan perhitungan dengan memanfaatkan data *propeller* yang telah ada. Perhitungan dilakukan dengan mengacu pada Tugas Merancang Kapal III yang pernah dilakukan oleh penulis. Untuk menghitung efisiensi *propeller* di perlukan suatu diagram yaitu kurva K_T - K_Q - J. Pada kurva K_T - K_Q -J pada A_E/A_O tertentu terdiri dari beberapa kurva K_T dan efisiensi *propeller*, Jumlahnya tergantung pada banyaknya variasi P/D dan 1 (satu) kurva $K_{T \text{ design}}$, dimana efisiensidan K_T sebagai sumbu ordinat dan J sebagai sumbu absis. Adapun variasi dari P/D, J, dan A_E/A_O berturut – turut sebagai berikut:

$$P/D : 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0 \text{ dan } 1.2$$

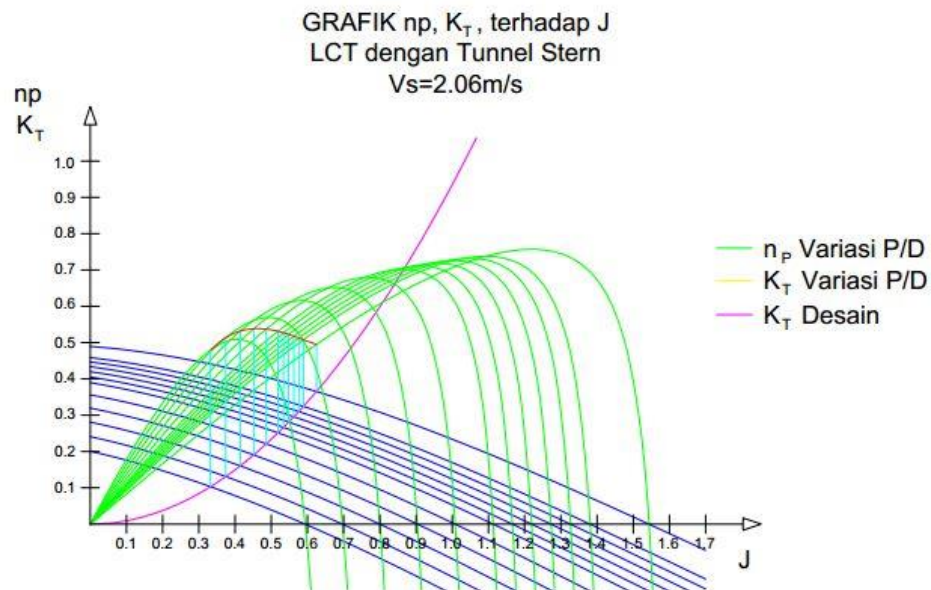
$$J : 0.0 - 0.17$$

$$A_E/A_O : 0.40$$

Dengan menggunakan perhitungan pada persamaan (9) untuk menghitung $K_{T(\text{design})}$ dan variasi yang diberikan berupa variasi P/D, dan J, dan dengan bantuan *software* CAD maka dapat diperoleh kurva K_T - K_Q -J sebanyak variasi kecepatan pada masing-masing model kapal yaitu model kapal *existing* dan model kapal + *tunnel stern*. Berikut adalah contoh kurva K_T - K_Q -J yang didapat dari perhitung dan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar VI-1 Kurva K_T - K_Q - J untuk model kapal *existing* pada kecepatan (V_s) = 2.06 m/s.



Gambar VI-2 Kurva K_T - K_Q - J untuk model kapal dengan *tunnel stern* pada kecepatan (V_s) = 2.06 m/s.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi *propeller* adalah dengan mencari perpotongan pada setiap kurva K_T dan kurva K_T (*design*), setiap perpotongan kurva tersebut menunjukkan satu titik nilai efisiensi. Setelah didapat beberapa nilai efisiensi kemudian titik – titik tersebut dihubungkan membentuk suatu persamaan garis, dari persamaan tersebut dapat dicari nilai efisiensi tertinggi. Untuk lebih jelasnya, nilai efisiensi *propeller* pada masing-masing variasi kecepatan, akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya

VI.2.2. Efisiensi *Propeller* Pada Model Kapal *Existing*

Dari simulasi model yang telah dilakukan pada model kapal *existing* didapat harga kecepatan aliran air pada *plane* 4 yang merupakan lokasi dari *propeller plane*, harga kecepatan aliran pada *plane* 4 tersebut nantinya dipakai sebagai komponen variasi $K_{T \text{ design}}$ *propeller* pada diagram K_T - K_Q - J .

Tabel VI.1 Nilai V_a pada model kapal *existing*.

No	V_s (m/s)	V_a (m/s)
1.	2.06	1.8105
2.	3.09	2.7226
3.	4.12	3.6361
4.	5.14	4.5507

Dari V_a yang didapat dan digunakan sebagai komponen variasi $K_{T \text{ design}}$, selanjutnya dengan menggunakan persamaan kuadrat didapat nilai efisiensi *propeller* untuk masing-masing kecepatan kapal. Nilai efisiensi *propeller* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel VI.2 Efisiensi *propeller* model kapal *existing*.

No.	Vs (m/s)	Efisiensi <i>Propeller</i>
1	2.06	0.51810
2	3.09	0.52510
3	4.12	0.52690
4	5.14	0.51230

VI.2.3. Efisiensi *Propeller* pada Model Kapal dengan *Tunnel Stern*

Dari simulasi model yang telah dilakukan pada model kapal dengan *tunnel stern* didapat harga kecepatan aliran air pada *plane 2* yang merupakan lokasi dari *propeller plane*, harga kecepatan aliran pada *plane 2* tersebut dicari rata-ratanya dan nantinya dipakai sebagai komponen variasi $K_{T \text{ design}}$ *propeller* pada diagram K_T - K_Q -J model kapal dengan *tunnel stern*.

Tabel VI.3 Nilai V_a pada model kapal dengan *tunnel stern*.

No	Vs (m/s)	V_a (m/s)
1.	2.06	1.9479
2.	3.09	2.9250
3.	4.12	3.9030
4.	5.14	4.8556

Dari V_a rata-rata yang didapat dan digunakan sebagai komponen variasi $K_{T \text{ design}}$, selanjutnya dengan menggunakan persamaan kuadrat didapat nilai efisiensi *propeller* untuk masing-masing kecepatan kapal. Nilai efisiensi *propeller* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel VI.4 Efisiensi *propeller* model kapalan dengan *tunnel stern*.

No.	Vs (m/s)	Efisiensi <i>Propeller</i>
1	2.06	0.5885
2	3.09	0.5950
3	4.12	0.5965
4	5.14	0.5825

Dari hasil efisiensi *propeller* yang telah didapatkan, baik dari model kapal *existing* dan model kapal dengan *tunnel stern* dapat diketahui bahwa efisiensi *propeller* mengalami peningkatan setelah penambahan *tunnel stern* sebesar 13,45%. Ini membuktikan bahwa penambahan *tunnel stern* dapat meningkatkan efisiensi *propeller*.

VI.3. Perhitungan Efisiensi Sistem Propulsi

VI.3.1. Umum

Untuk meningkatkan performa kapal, salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Setelah melakukan perhitungan pada efisiensi

propeller yang menjadi salah satu komponen pada efisiensi sistem propulsi. Langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi sistem propulsi dari data yang telah didapatkan dari hasil simulasi dengan menggunakan *software CFD package*. Data yang berhasil didapat adalah berupa kecepatan aliran di bagian buritan kapal pada lokasi *plane 2* (dua) yang merupakan lokasi dari *propeller plane*, yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi *propeller* dan untuk menghitung harga efisiensi *hull* pada persamaan (6). Berikut adalah hasil dari perhitungan efisiensi sistem propulsi pada masing – masing model kapal dengan tiap variasi kecepatan kapal pada *plane 2* atau *propeller plane*.

VI.3.2. Efisiensi Sistem Propulsi pada Model Kapal *Existing*

Dari hasil simulasi model kapal *existing* yang telah didapatkan dan dituliskan pada Bab V.2 selanjutnya data yang telah didapat diambil rata-ratanya untuk mendapatkan data yang lebih sederhana dan mewakili nilai kecepatan aliran di buritan kapal pada masing-masing *plane* tiap kecepatan kapal. Data rekapitulasi kecepatan aliran pada masing – masing *plane* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel VI.5 Rekapitulasi nilai kecepatan aliran tiap *plane* pada model kapal *existing*.

No.	Vs	Kecepatan Aliran Pada Model Kapal <i>existing</i> (Va)			
		Plane 1	Plane 2	Plane 3	Plane 4
	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
1	2.06	1.792	1.811	1.852	1.881
2	3.09	2.699	2.723	2.783	2.826
3	4.12	3.607	3.636	3.716	3.772
4	5.14	4.517	4.551	4.650	4.719

Berdasarkan Tabel VI.5 diatas menggambarkan bahwa pada tiap lokasi *plane* berbeda kecepatan alirannya. Untuk menghitung efisiensi sistem propulsi diambil data hasil kecepatan aliran pada *plane 2* (dua) karena merupakan lokasi dari *propeller*. Data ini digunakan untuk menghitung efisiensi *propeller* dengan menggunakan kurva K_T - K_Q -J dan persamaan (5) untuk menghitung efisiensi sistem propulsi. Dari hasil perhitungan dari persamaan (5) didapat hasil efisiensi sistem propulsi untuk model kapal *existing* sebagai berikut.

Tabel VI.6 Efisiensi sistem propulsi model kapal *existing*.

No	Vs	wake	Efisiensi <i>Propeller</i>	Efisiensi sistem Propulsi
	m/s			
1	2.06	0.12111	0.51810	0.48855
2	3.09	0.11776	0.52510	0.49328
3	4.12	0.11637	0.52690	0.49419
4	5.14	0.11465	0.51230	0.47956

Dari tabel VI.6, dapat dilihat bahwa *wake fraction* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kecepatan kapal. Dan efisiensi sistem propulsi meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal namun menurun pada kecepatan tertinggi, yaitu pada kecepatan kapal (V_s) = 5.14m/s yang hanya sebesar 0.47956.

VI.3.3. Efisiensi Sistem Propulsi pada Model Kapal dengan *Tunnel Stern*

Dari hasil simulasi model kapal dengan *tunnel stern* yang telah dilakukan, didapatkan data harga nilai kecepatan aliran pada 4 (empat) variasi kecepatan di 4 lokasi *plane*, yaitu *plane* 1, *plane* 2, *plane* 3, dan *plane* 4. Rekapitulasi kecepatan aliran pada masing – masing *plane* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel VI.7 Rekapitulasi nilai kecepatan aliran tiap *plane* model kapal dengan *tunnel stern*.

No.	V_s (m/s)	Kecepatan Aliran Pada Model Kapal dengan <i>tunnel stern</i>			
		<i>Plane</i> 1 (m/s)	<i>Plane</i> 2 (m/s)	<i>Plane</i> 3 (m/s)	<i>Plane</i> 4 (m/s)
1	2.06	1.930	1.948	1.975	1.974
2	3.09	2.902	2.925	2.965	2.958
3	4.12	3.874	3.903	3.957	3.942
4	5.14	4.826	4.856	4.912	4.894

Dengan menggunakan cara yang sama dengan yang dikerjakan pada model kapal *existing*, maka harga efisiensi sistem propulsi dapat dicari pada model kapal dengan *tunnel stern*. Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi sistem propulsi pada model kapal dengan *tunnel stern* dan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel VI.8 Efisiensi sistem propulsi model kapal dengan *tunnel stern*.

No	V_s m/s	wake	Efisiensi <i>Propeller</i>	Efisiensi sistem Propulsi
1	2.06	0.054422	0.5885	0.5073
2	3.09	0.052187	0.5950	0.5117
3	4.12	0.051512	0.5965	0.5126
4	5.14	0.055329	0.5825	0.5026

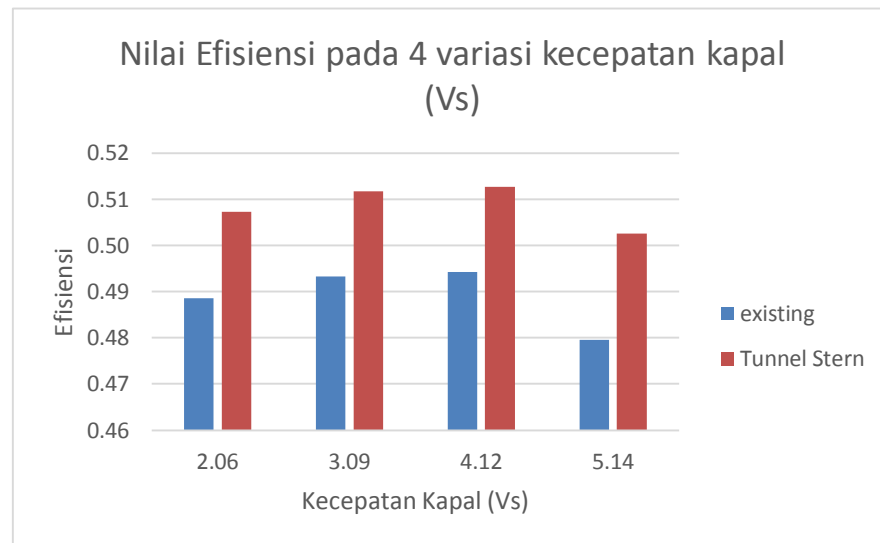
VI.4. Pembahasan

Dari tabel efisiensi sistem propulsi diatas, baik dari model kapal *existing* dan model kapal dengan *tunnel stern* dapat dibuat perbandingan nilai efisiensi dalam bentuk tabel dan diagram. untuk nilai efisiensi sistem propulsinya. Berikut adalah table dari perbandingan nilai efisiensi system propulsi dari kedua model.

Tabel VI.9 Perbandingan efisiensi sistem propulsi model kapal pada *propeller plane*.

No	Vs	Efisiensi sistem Propulsi	
	m/s	model kapal <i>existing</i>	model kapal dengan <i>tunnel stern</i>
1	2.06	0.48855	0.5073
2	3.09	0.49328	0.5117
3	4.12	0.49419	0.5126
4	5.14	0.47956	0.5026

Adapun diagram untuk menunjukkan nilai efisiensi sistem propulsi, dapat dilihat pada diagram perbandingan dibawah ini.

Gambar VI-3 Perbandingan hasil efisiensi sistem propulsi pada *propeller plane*.

Dari diagram diatas terlihat dengan jelas bahwa pemasangan *tunnel stern* meningkatkan efisiensi sistem propulsi karena efisiensi pada model kapal dengan penambahan *tunnel stern* lebih tinggi jika dibandingkan dengan model kapal *existing*. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran di buritan kapal dapat meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Pada setiap model kapal, peningkatan efisiensi sistem propulsi mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal.

Namun pada perbandingan model kapal *existing* dan kapal dengan *tunnel stern* persentase kenaikan efisiensi sistem propulsi tertinggi pada kecepatan model kapal 5.14 m/s sebesar 4.81 %. Dan persentase kenaikan efisiensi sistem propulsi berturut – turut pada kecepatan yang lain adalah pada Vs = 2.06 m/s kenaikan efisiensi sistem propulsi sebesar 3.84%, pada Vs = 3.09 m/s kenaikan efisiensi sistem propulsi sebesar 3.73% dan pada Vs = 4.12 m/s kenaikan efisiensi sistem propulsi sebesar 3.73%. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa penambahan *tunnel stern* pada buritan kapal dapat meningkatkan efisiensi rata-rata pada 4 variasi kecepatan adalah 4.03%.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Setelah semua hasil penelitian didapat dan dianalisa pada pembahasan yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya, pada bab penutup ini akan dirangkum seluruh hasil yang telah dicapai dari penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini adalah beberapa rangkuman dari pembahasan yang telah dilakukan yang dituangkan kedalam kesimpulan ini yang bertujuan untuk menjawab tujuan dari penelitian pada Bab I. Adapun kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Ditinjau dari bentuk buritan kapal LCT yang memiliki bentuk yang langsing, salah satu modifikasi yang dapat diaplikasikan pada bagian buritan kapal adalah dilakukan modifikasi dengan penambahan bentuk *tunnel stern* untuk menambah ruang dan memperbaiki aliran diburitan kapal sehingga meningkatkan efisiensi sistem propulsi.
2. Dari hasil simulasi CFD, penambahan *tunnel stern* pada buritan kapal meningkatkan kecepatan aliran pada buritan kapal. Kecepatan aliran pada buritan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal.
3. Penambahan *tunnel stern* pada model kapal dapat meningkatkan kecepatan aliran di buritan kapal sehingga meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Pada kecepatan kapal (V_s)=2,06 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,84%. Pada variasi kecepatan kapal (V_s)=3,09 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,73%. Pada variasi kecepatan kapal (V_s)=4,12 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,73%. Dan pada variasi kecepatan yang terakhir yaitu pada kecepatan kapal (V_s) = 5,14 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 4,81%. Rata-rata peningkatan efisiensi propulsi setelah dilakukan penambahan *tunnel stern* adalah sebesar 4,03%.

VII.2. Saran

Penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah baru sebagian kecil dari seluruh permasalahan yang ada. Sehingga di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau dalam pembahasan pada penelitian ini.

Diharapkan hal tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk itu pada bagian ini dituliskan beberapa saran sebagaimana dituliskan sebagai berikut:

1. Pada Penelitian Tugas Akhir ini hanya dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *tunnel stern* terhadap peningkatan efisiensi propulsi. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *tunnel stern* terhadap aspek lain, seperti konstruksi, olah gerak kapal, dan getaran. Sehingga akan banyak penelitian tentang *tunnel stern* ini.
2. Dilakukan variasi yang lain terhadap ukuran dan bentuk *tunnel stern* untuk mendapatkan perbandingan hasil yang lebih optimal.
3. Penggunaan *software* terbaru dan yang berlisensi dalam proses pengerjaan simulasi model kapal agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
4. Penggunaan komputer dengan *processor* terbaru dan *RAM 8GB* atau lebih agar mendapatkan hasil pengerjaan yang lebih maksimal.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Setelah semua hasil penelitian didapat dan dianalisa pada pembahasan yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya, pada bab penutup ini akan dirangkum seluruh hasil yang telah dicapai dari penelitian Tugas Akhir ini. Berikut ini adalah beberapa rangkuman dari pembahasan yang telah dilakukan yang dituangkan kedalam kesimpulan ini yang bertujuan untuk menjawab tujuan dari penelitian pada Bab I. Adapun kesimpulannya adalah sebagai berikut:

1. Ditinjau dari bentuk buritan kapal LCT yang memiliki bentuk yang langsing, salah satu modifikasi yang dapat diaplikasikan pada bagian buritan kapal adalah dilakukan modifikasi dengan penambahan bentuk *tunnel stern* untuk menambah ruang dan memperbaiki aliran diburitan kapal sehingga meningkatkan efisiensi sistem propulsi.
2. Dari hasil simulasi CFD, penambahan *tunnel stern* pada buritan kapal meningkatkan kecepatan aliran pada buritan kapal. Kecepatan aliran pada buritan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan kapal.
3. Penambahan *tunnel stern* pada model kapal dapat meningkatkan kecepatan aliran di buritan kapal sehingga meningkatkan efisiensi sistem propulsi. Pada kecepatan kapal (V_s)=2,06 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,84%. Pada variasi kecepatan kapal (V_s)=3,09 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,73%. Pada variasi kecepatan kapal (V_s)=4,12 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 3,73%. Dan pada variasi kecepatan yang terakhir yaitu pada kecepatan kapal (V_s) = 5,14 m/s, peningkatan efisiensi propulsinya adalah 4,81%. Rata-rata peningkatan efisiensi propulsi setelah dilakukan penambahan *tunnel stern* adalah sebesar 4,03%.

VII.2. Saran

Penelitian yang dilakukan oleh penulis adalah baru sebagian kecil dari seluruh permasalahan yang ada. Sehingga di luar seluruh pekerjaan yang sudah diselesaikan, tentunya masih banyak permasalahan yang belum bisa dijangkau dalam pembahasan pada penelitian ini.

Diharapkan hal tersebut dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk itu pada bagian ini dituliskan beberapa saran sebagaimana dituliskan sebagai berikut:

1. Pada Penelitian Tugas Akhir ini hanya dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *tunnel stern* terhadap peningkatan efisiensi propulsi. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *tunnel stern* terhadap aspek lain, seperti konstruksi, olah gerak kapal, dan getaran. Sehingga akan banyak penelitian tentang *tunnel stern* ini.
2. Dilakukan variasi yang lain terhadap ukuran dan bentuk *tunnel stern* untuk mendapatkan perbandingan hasil yang lebih optimal.
3. Penggunaan *software* terbaru dan yang berlisensi dalam proses pengerjaan simulasi model kapal agar didapatkan hasil yang lebih akurat.
4. Penggunaan komputer dengan *processor* terbaru dan *RAM 8GB* atau lebih agar mendapatkan hasil pengerjaan yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, Sony. (2013). Thesis. *Studi Komperatif Performaa Hidrodinamik Kapal Bertipe Shallow Draft Barge Pada Kondisi Perairan Dangkal, Sedang dan Dalam*”. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- CFX. 2007. *CFX Manual XIII Chapter 9: Free Surface Flow Over a Bump*. Ansys.
- Chris E. Mulder, P. W. (2006). *Improving the Performance of Shallow Draft Tugs in Northen Canada*. Society of Naval Architect and Marine Engineers, 1-16.
- Commons, W. (2015, June 15). File:IWM-H-19057-Crusader-landing-19420426.jpg. Retrieved from Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:IWM-H-19057-Crusader-landing-19420426.jpg>
- Harvald. S.S. (1983). *Resistance and Propulsion of Ships*. New York: John Wiley and Sons.
- J. Kulczyk, T. T. (2014). *Coefficients of Propeller-hull Interaction in Propulsion System of Inland Waterway Vessel with Stern Tunnels*. The International Journal on Maritime Navigation and Safety of Sea Transportation, 337-384.
- Lewis, Edward, V.(1988). Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), *Principles of Naval Architecture Vol. II, Resistance and Propulsion*. New Jersey.
- Marinetraffic. (2015, June 6). Vessels. Retrieved from Marinetraffic Web Site: <http://www.marinetraffic.com/en/photos/of/ships/shipid:703329/#forward>
- Atlar, Mehmet. (2013). *Anti-slamming bulbous bow and tunnel stern applications on a novel Deep-V catamaran for improved performance*. Journal Naval Architecture and Ocean Engineering, 302-312.
- Newland, N. (2015, April 25). Tunnel Stern. Retrieved from Wooden Boatbuilder Trades' Association: <http://www.wbta.co.uk/tunnel-sterns>

- Prima, Alloysius. (2008). Tugas Akhir. *Analisa Pengaruh Pemasangan Wake Equalizing Duct Terhadap Efisiensi Propulsif Dengan Pendekatan CFD*". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Setiawan, A. 2014. Tugas Akhir. *Modifikasi Bentuk Buritan Pada Shallow Draft Bulk Carrier untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Propulsi*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Shipbuilding, R. (2015, June 19). *Landing Craft Tank RP - 41.60 meters*. Retrieved from Ratson Landing Craft Specialist: <http://usedlandingcraft.ratson.com/landing-craft-tank-rp-41-60-meters.htm>
- Sid'qon, H. 2015. Thesis. *Kajian Bentuk Stern Hull Kapal Shallow Draft untuk Meningkatkan Performance Kapal*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

LAMPIRAN A

Gambar <i>Lines plan</i> Kapal 78 M <i>Landing Craft</i> nomor <i>hull</i> VT13.	A - 1
Gambar <i>General Arrangement</i> Kapal 78 M <i>Landing Craft</i> nomor <i>hull</i> VT13.	A - 2
Gambar Model Kapal Existing	A - 3
Gambar model Kapal dengan <i>Tunnel stern</i>	A - 4

LAMPIRAN B

Gambar Visualisasi Kecepatan aliran pada tiap *plane* dengan variasi kecepatan kapal B - 1

Gambar Visualisasi Kecepatan aliran pada tiap kecepatan dengan variasi lokasi *plane* B - 6

Gambar Visualisasi Aliran *pada* buritan kapal *Existing* B - 12

Gambar Visualisasi Aliran *pada* buritan kapal *Existing* B - 12

LAMPIRAN C

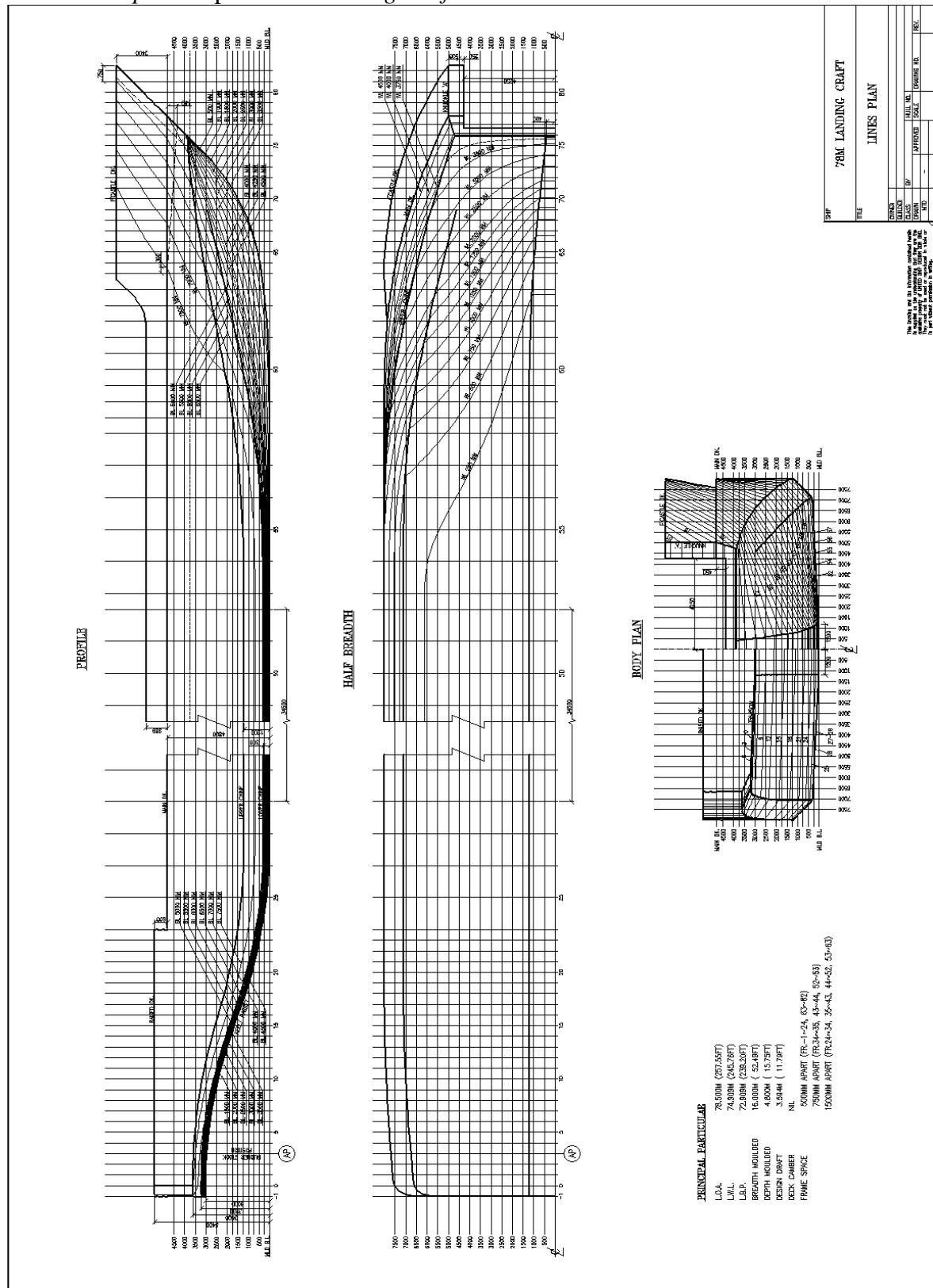
Gambar Kurva KT – KQ – J Model Kapal *Existing*

C - 1

Gambar Kurva KT – KQ – J Model Kapal dengan *Tunnel stern*

C - 3

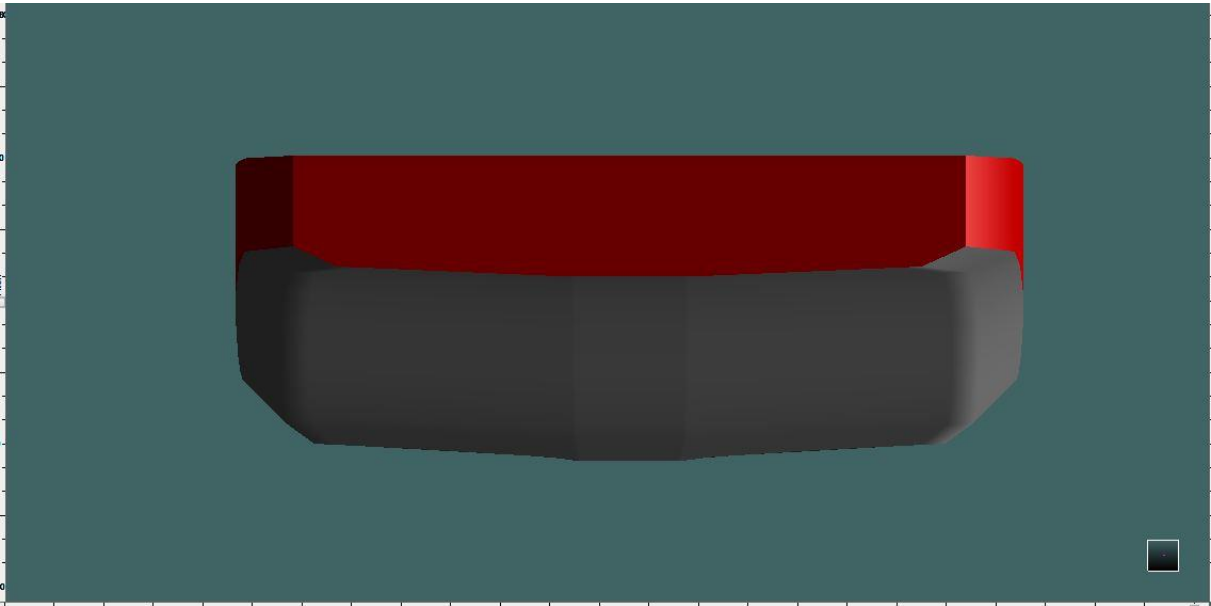
Gambar *Linesplan* Kapal 78 M *Landing Craft* nomor *hull* VT13.



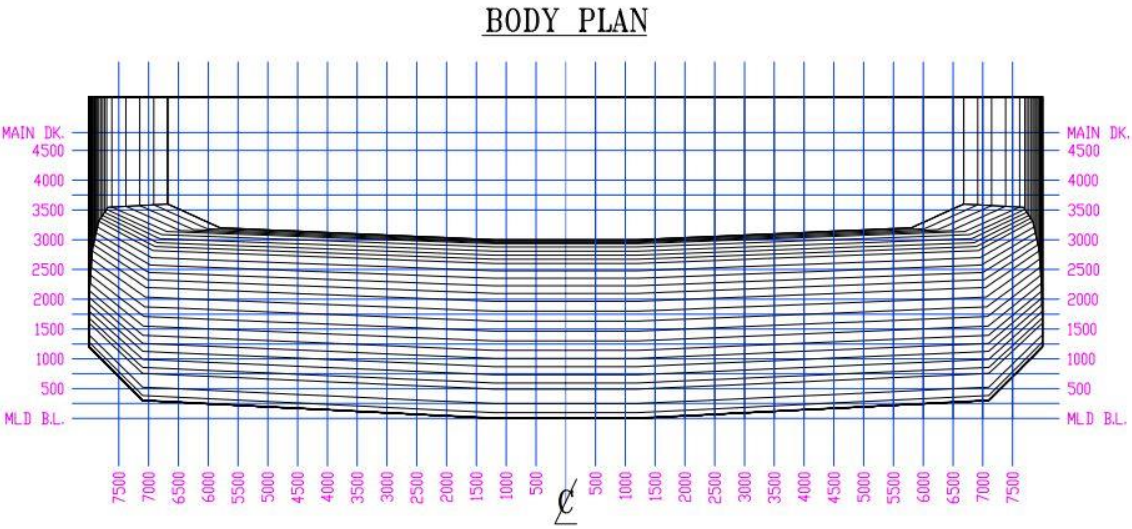
Lampiran A - 2



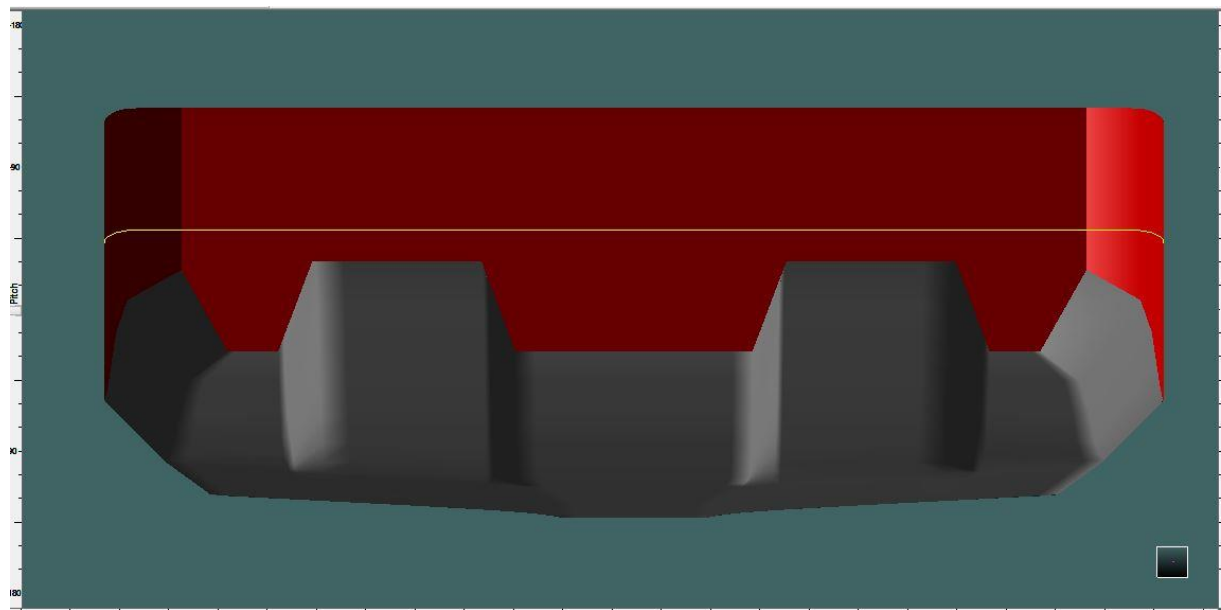
Gambar Model Kapal *Existing* dan Kapal dengan *Tunnel stern*



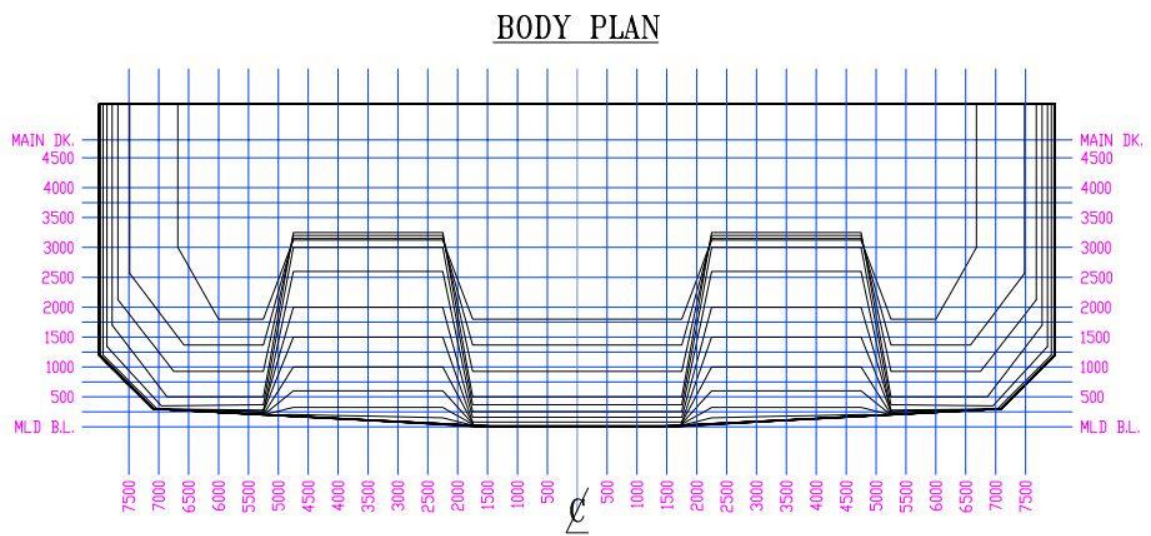
Model kapal *existing* tampak belakang.



Body Plan kapal *existing*



Model kapal dengan *tunnel stern*

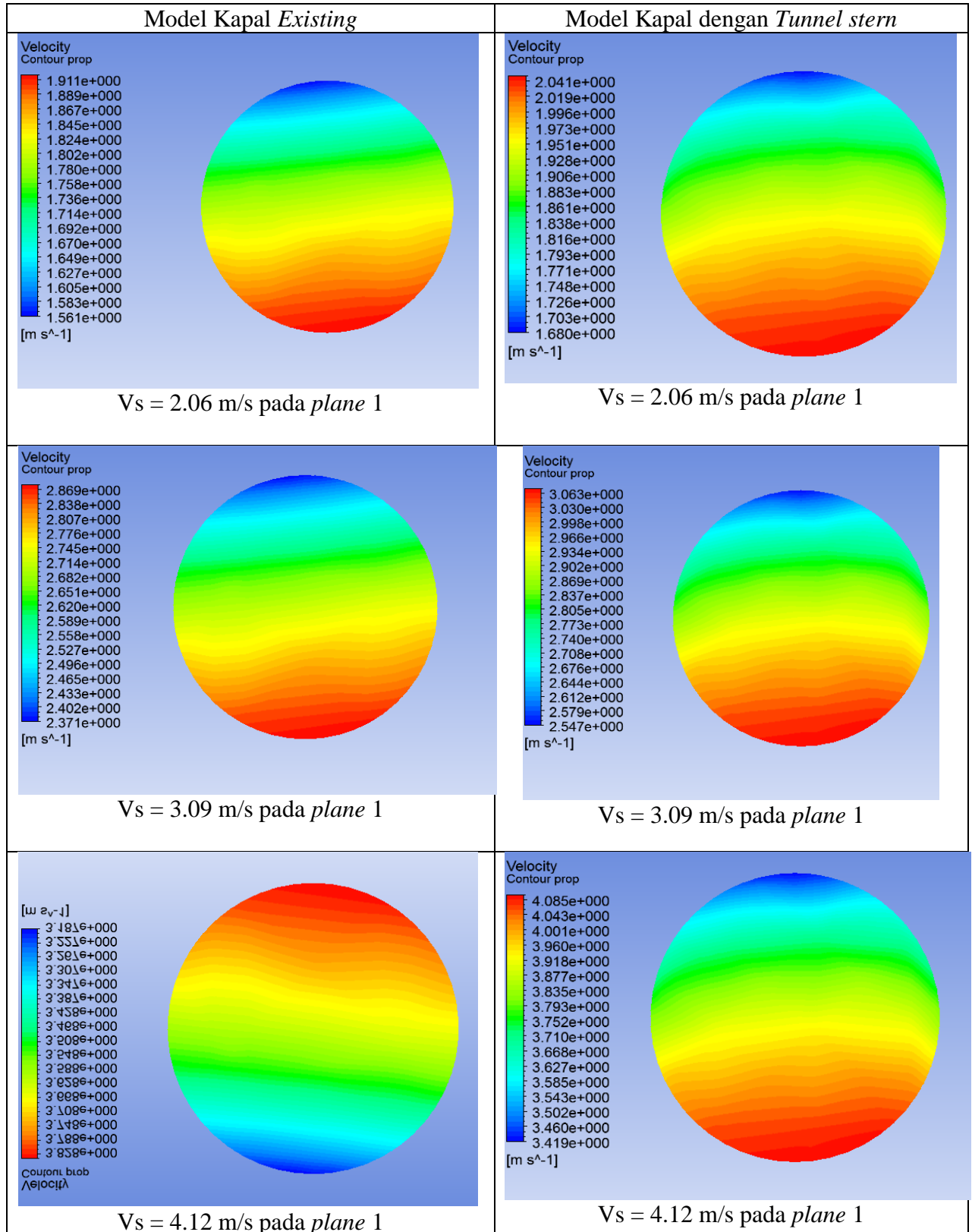


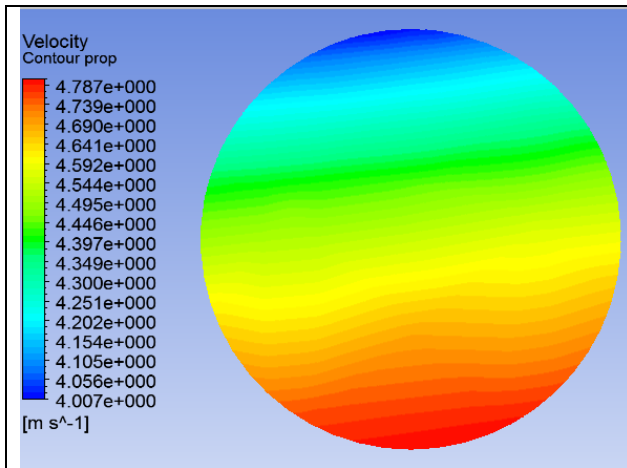
Body Plan kapal dengan *tunnel stern*

LAMPIRAN B

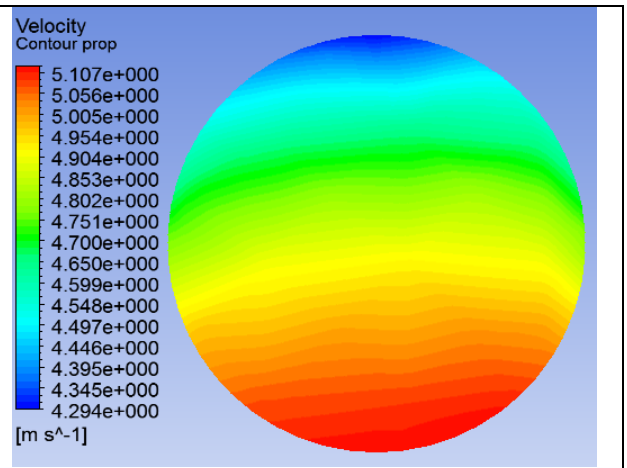
Gambar Visualisasi Kecepatan pada tiap *plane* dengan variasi kecepatan kapal

- *Plane 1.*





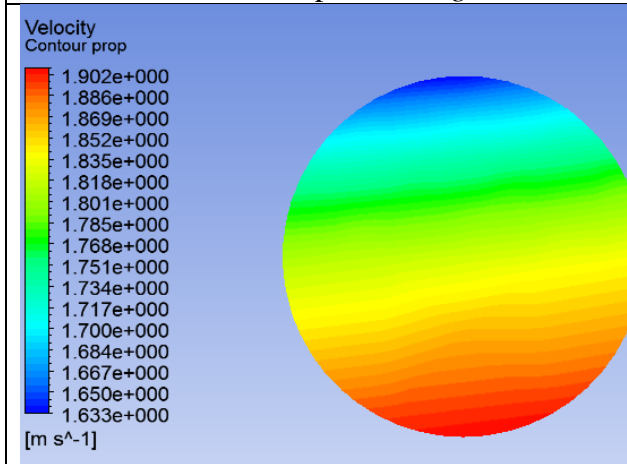
$V_s = 5.14$ m/s pada *plane 1*



$V_s = 5.14$ m/s pada *plane 1*

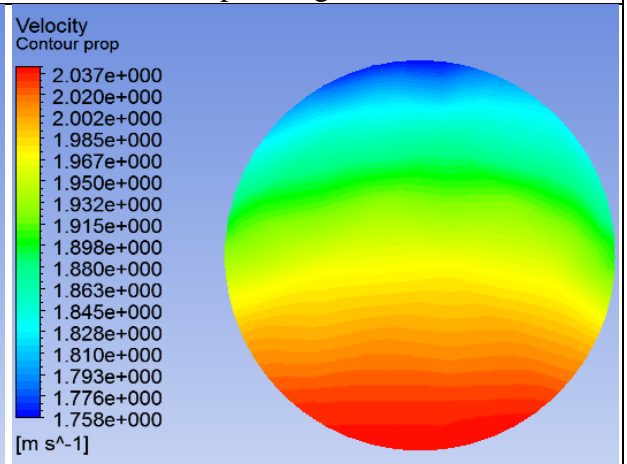
- *Plane 2.*

Model Kapal *Existing*

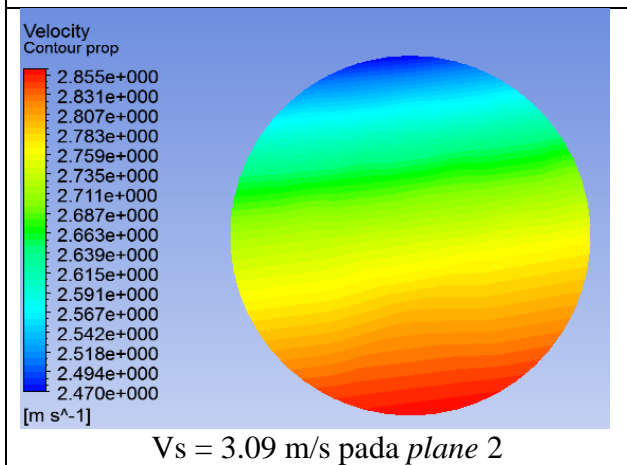


$V_s = 2.06$ m/s pada *plane 2*

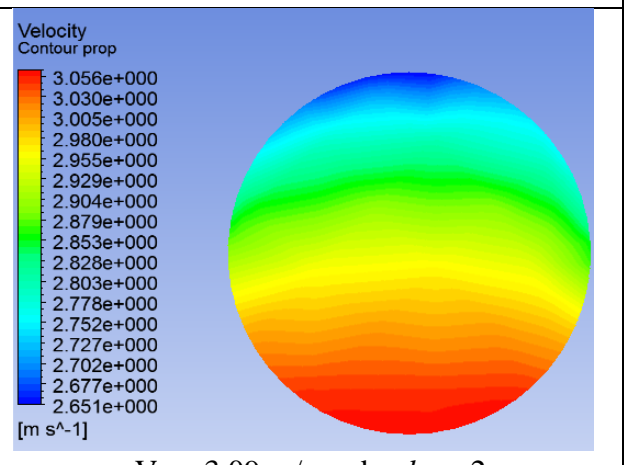
Model Kapal dengan *Tunnel stern*



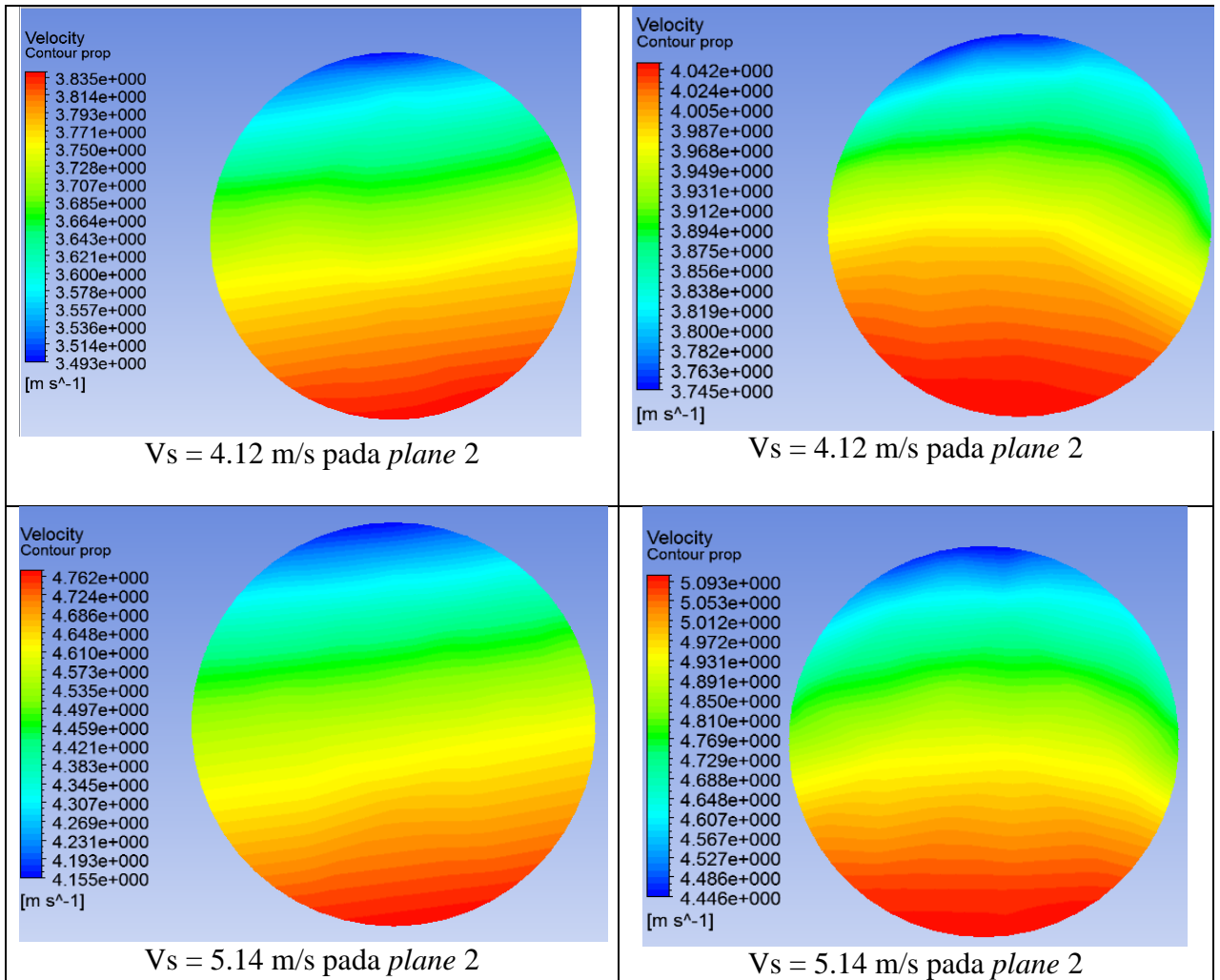
$V_s = 2.06$ m/s pada *plane 2*



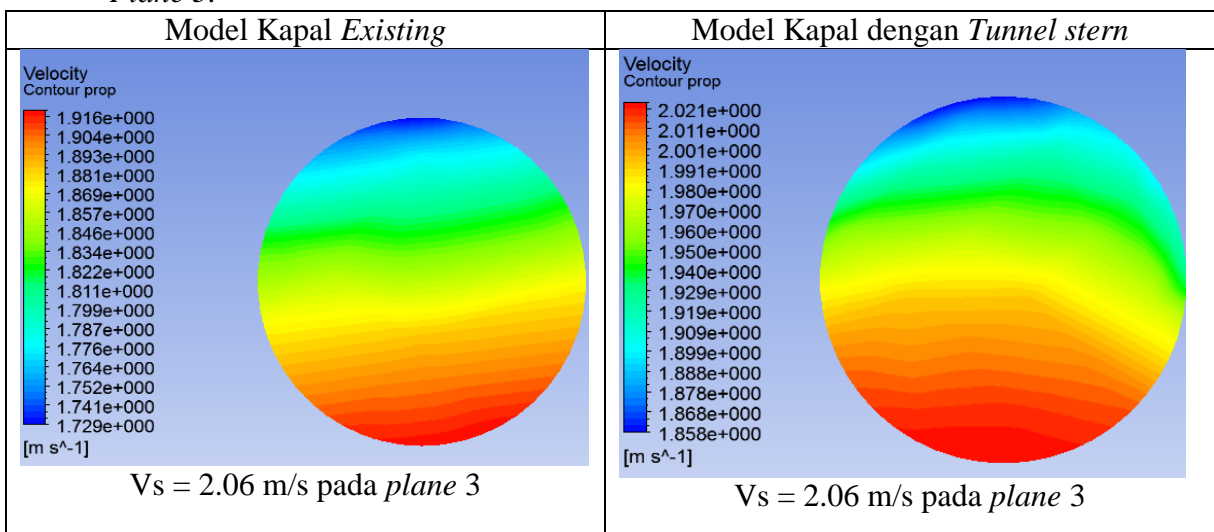
$V_s = 3.09$ m/s pada *plane 2*

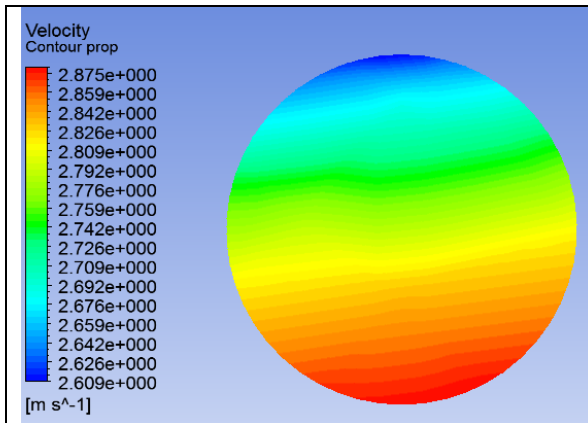


$V_s = 3.09$ m/s pada *plane 2*

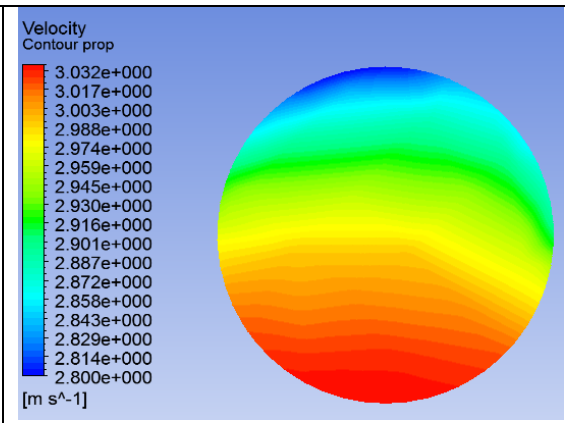


- *Plane 3.*

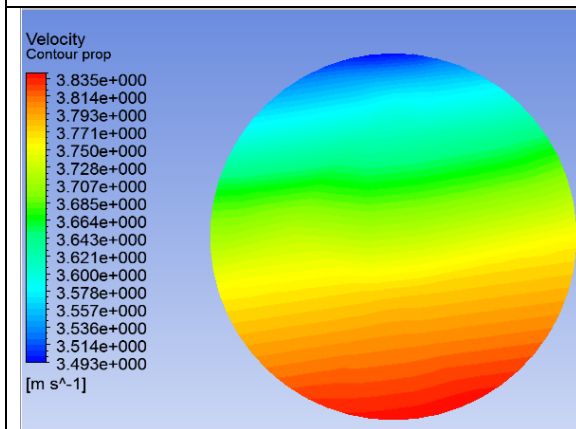




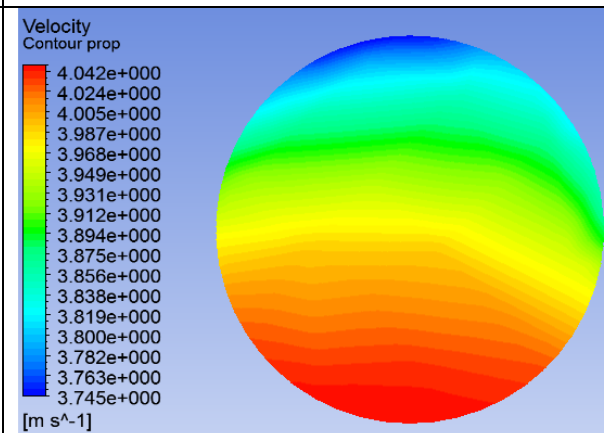
$V_s = 3.09$ m/s pada *plane 3*



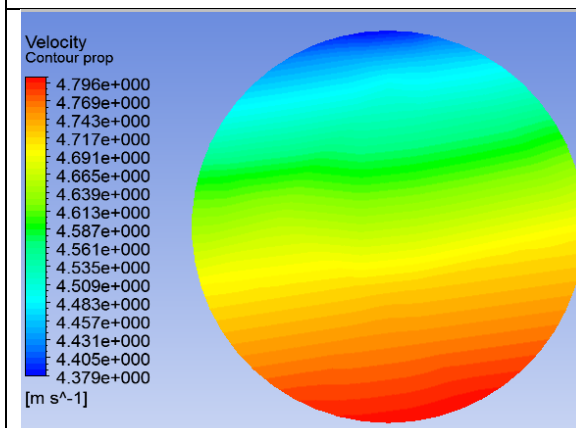
$V_s = 3.09$ m/s pada *plane 3*



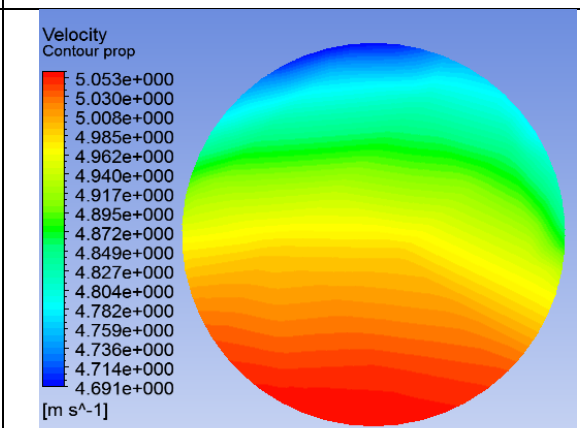
$V_s = 4.12$ m/s pada *plane 3*



$V_s = 4.12$ m/s pada *plane 3*

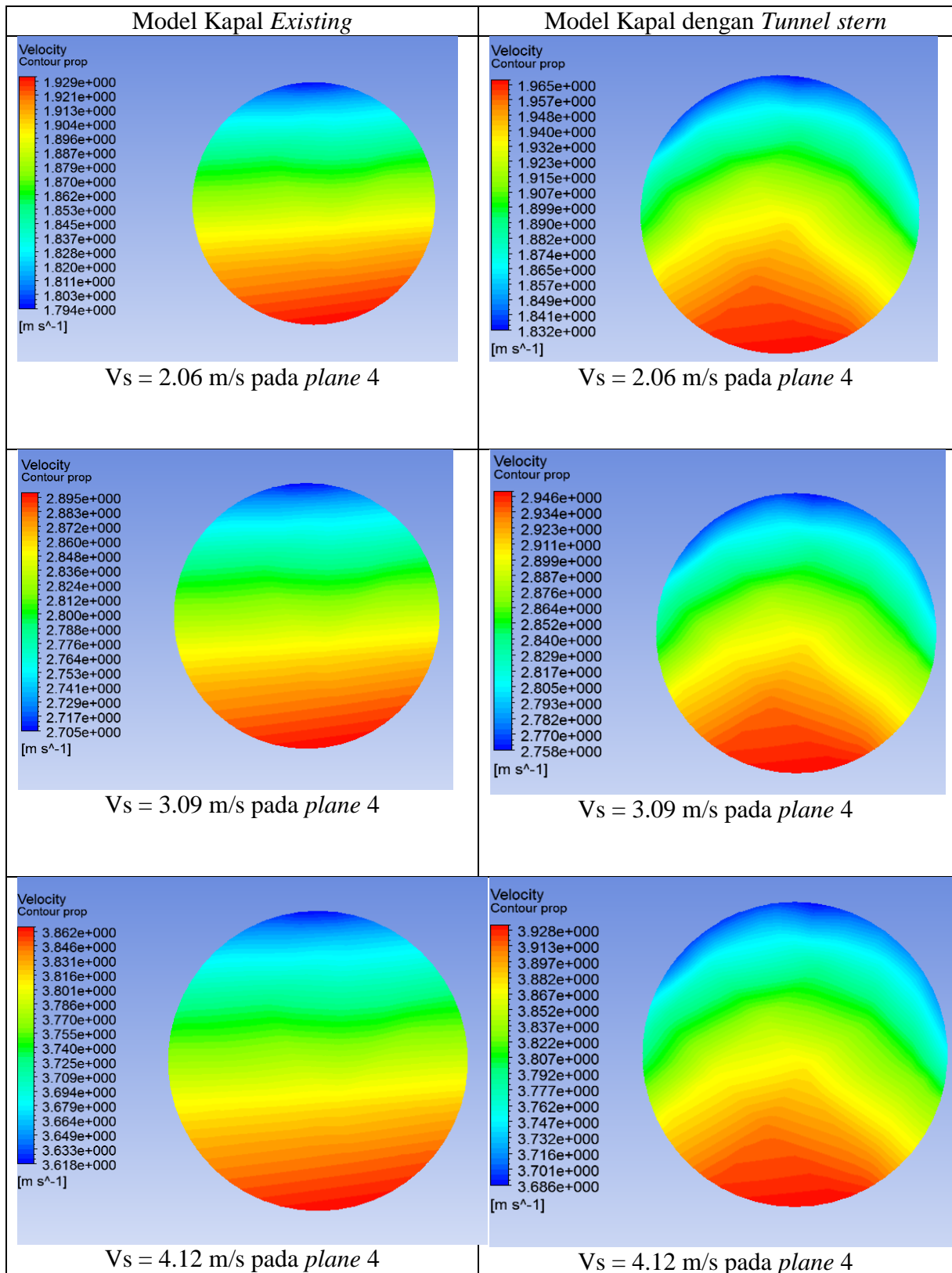


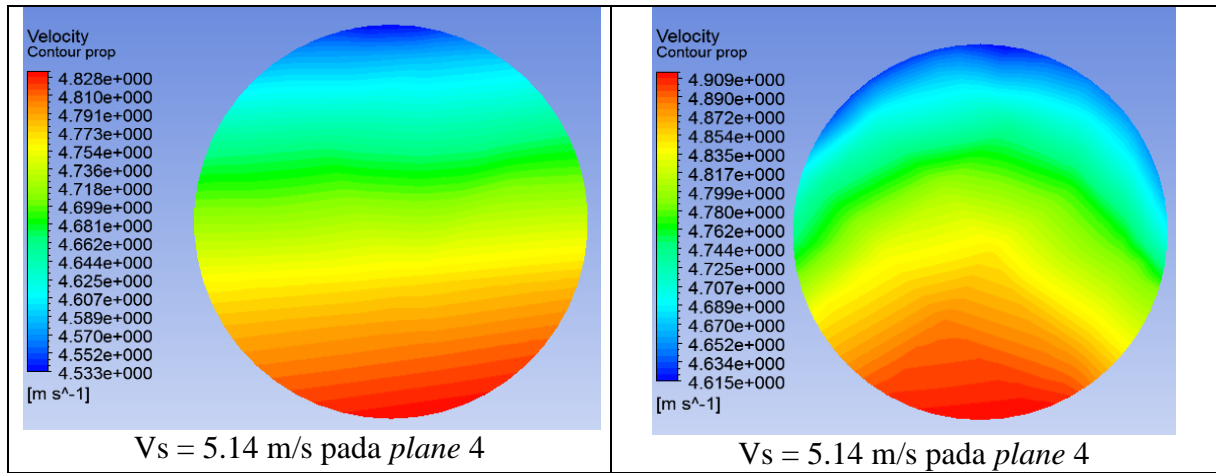
$V_s = 5.14$ m/s pada *plane 3*



$V_s = 5.14$ m/s pada *plane 3*

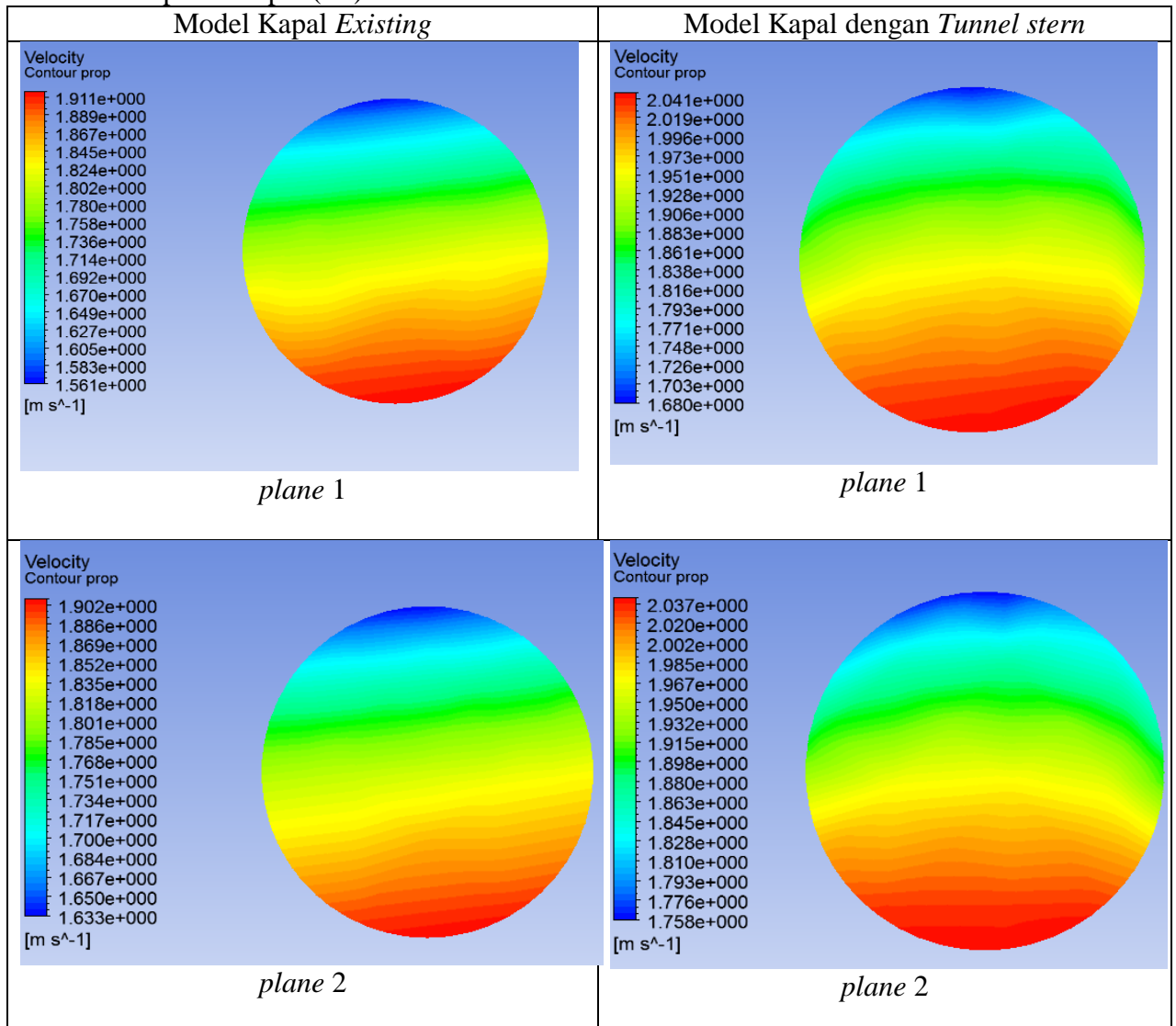
- *Plane 4.*

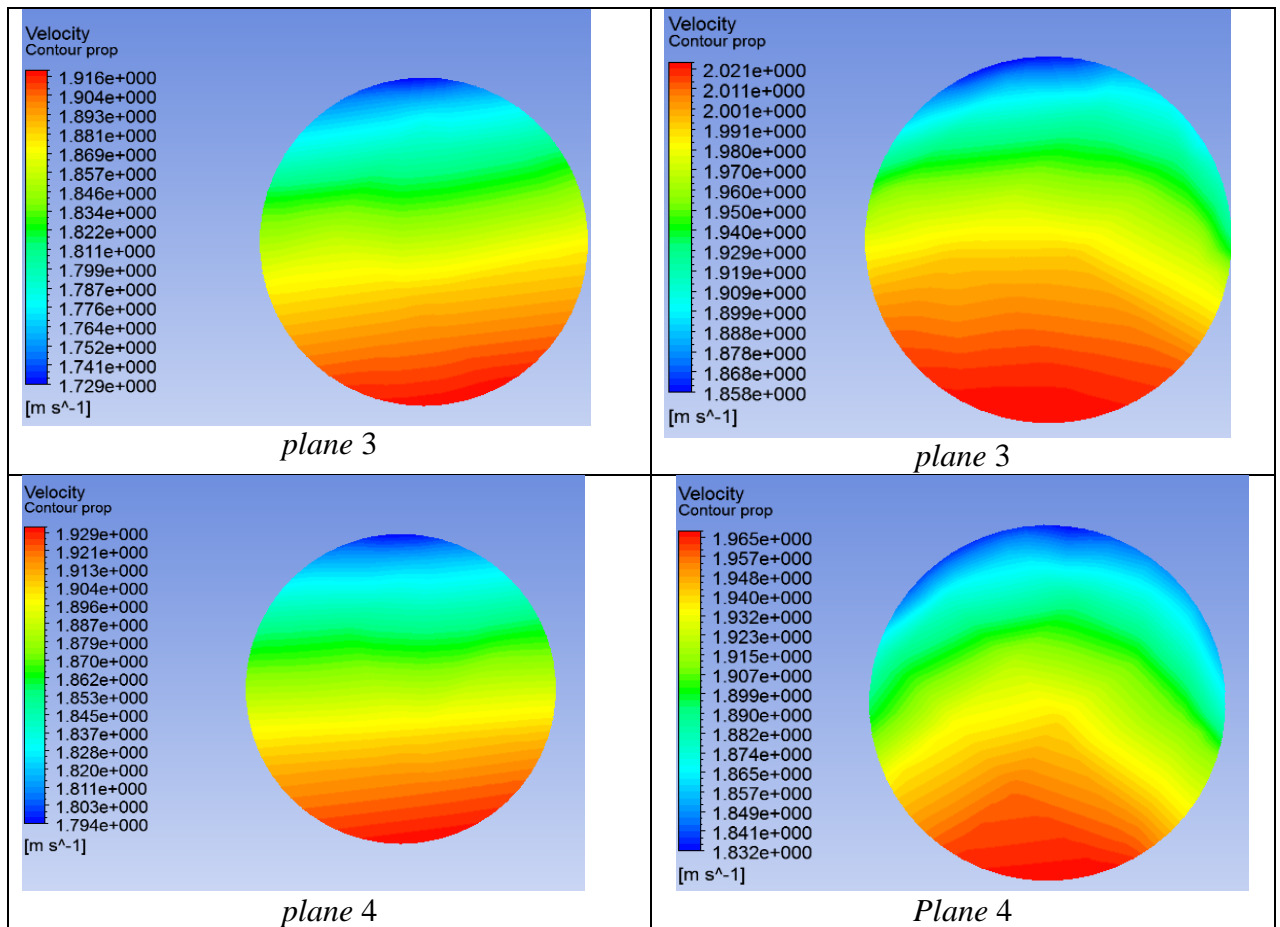




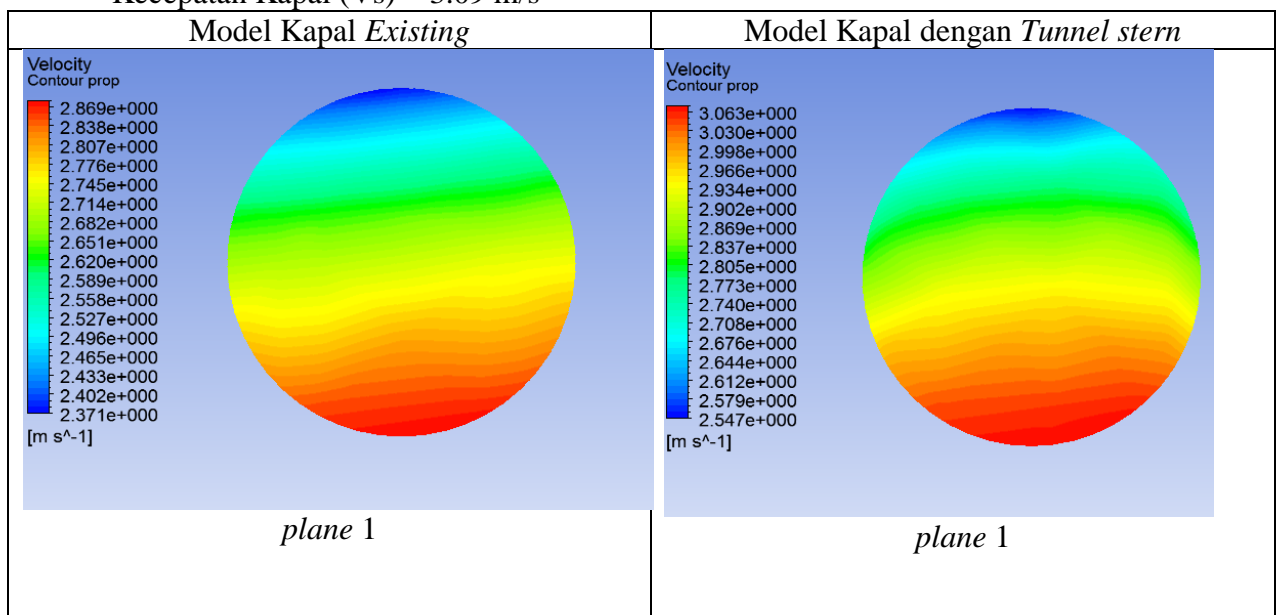
Gambar Visualisasi Kecepatan pada tiap kecepatan dengan variasi lokasi *plane*.

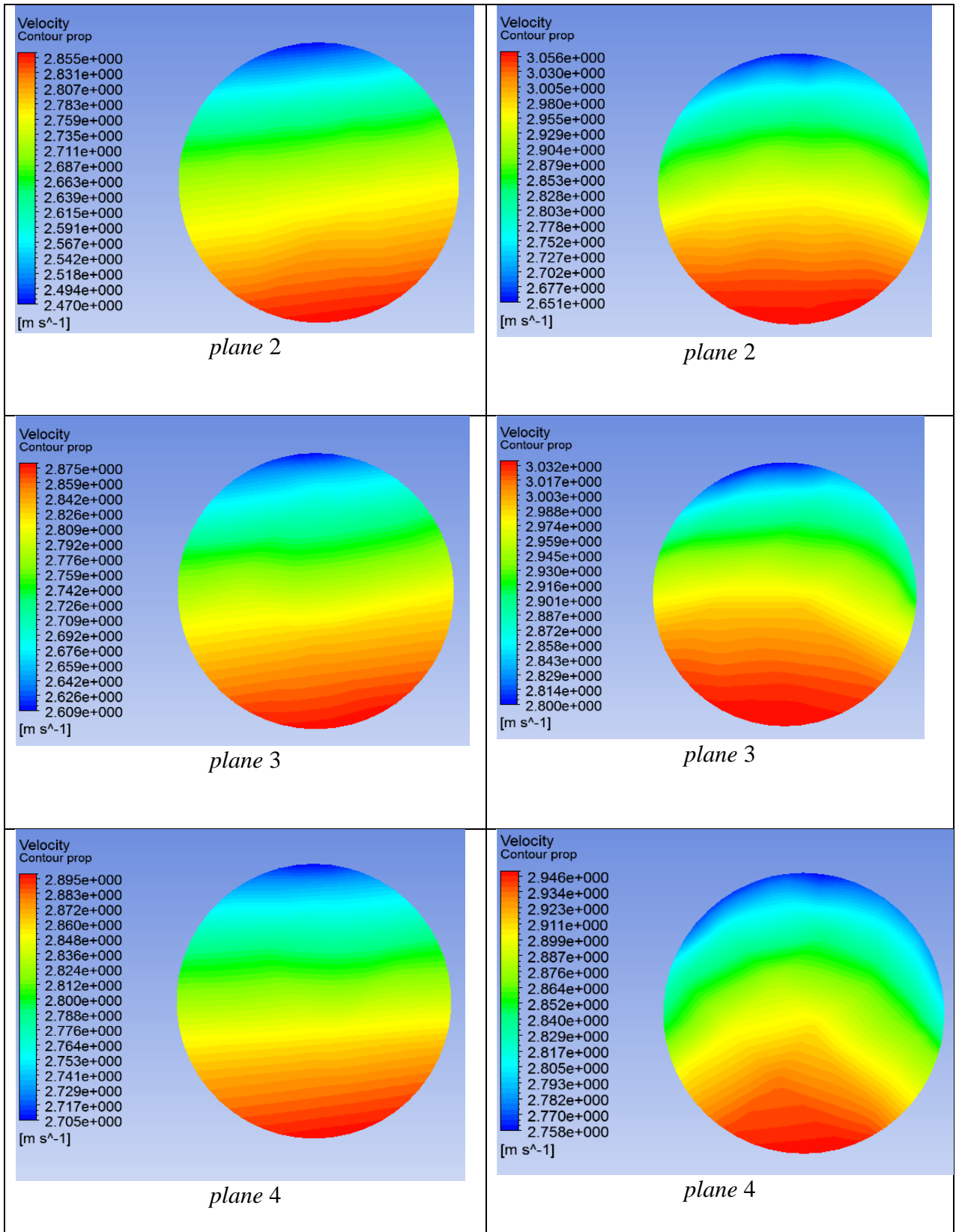
- Kecepatan Kapal (V_s) = 2.06 m/s



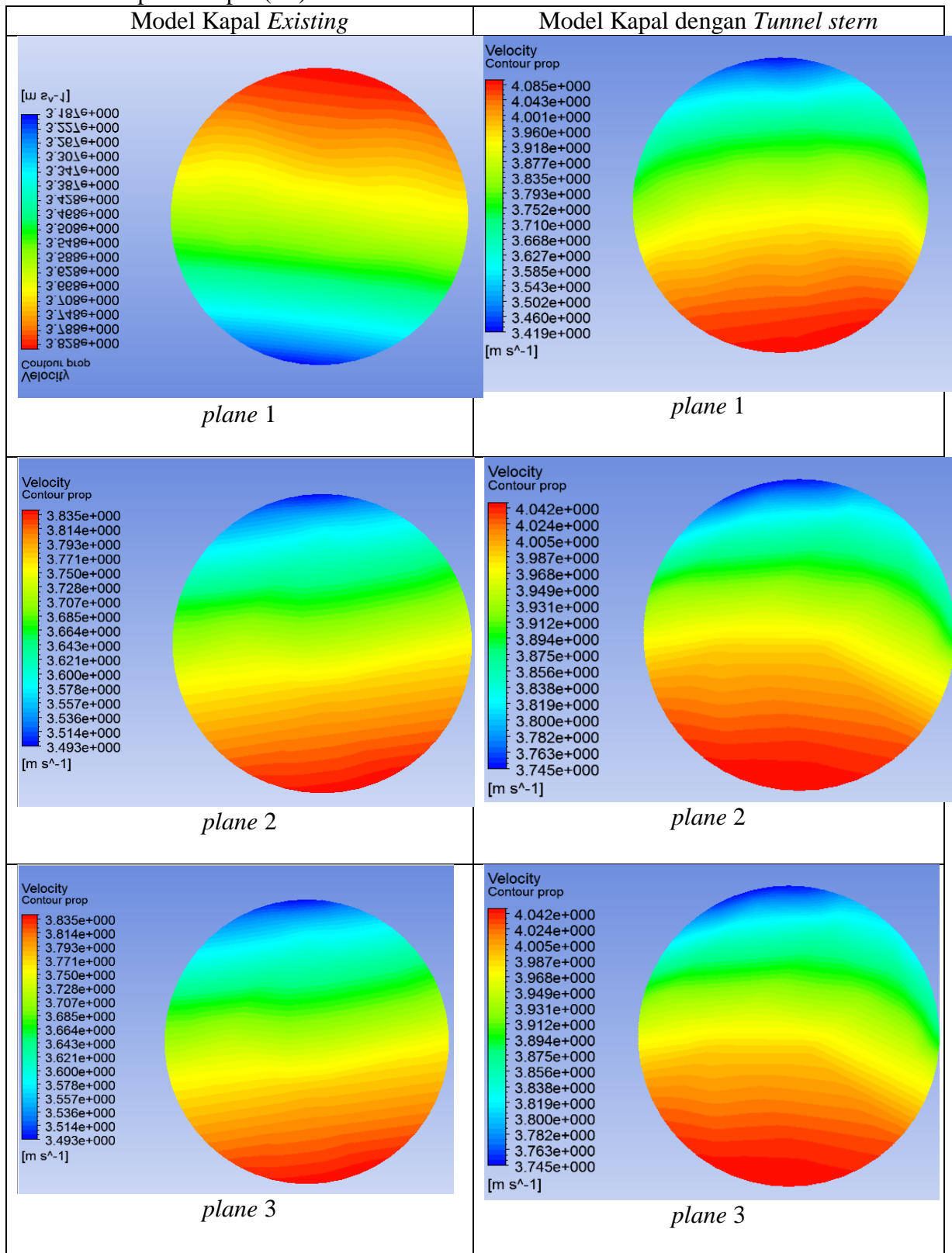


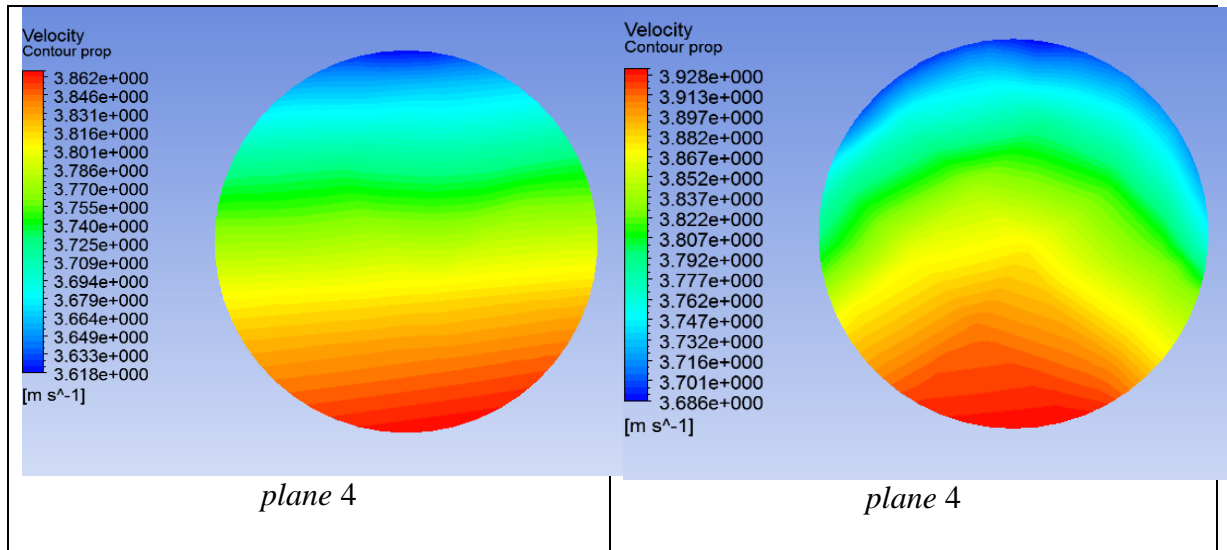
- Kecepatan Kapal (V_s) = 3.09 m/s



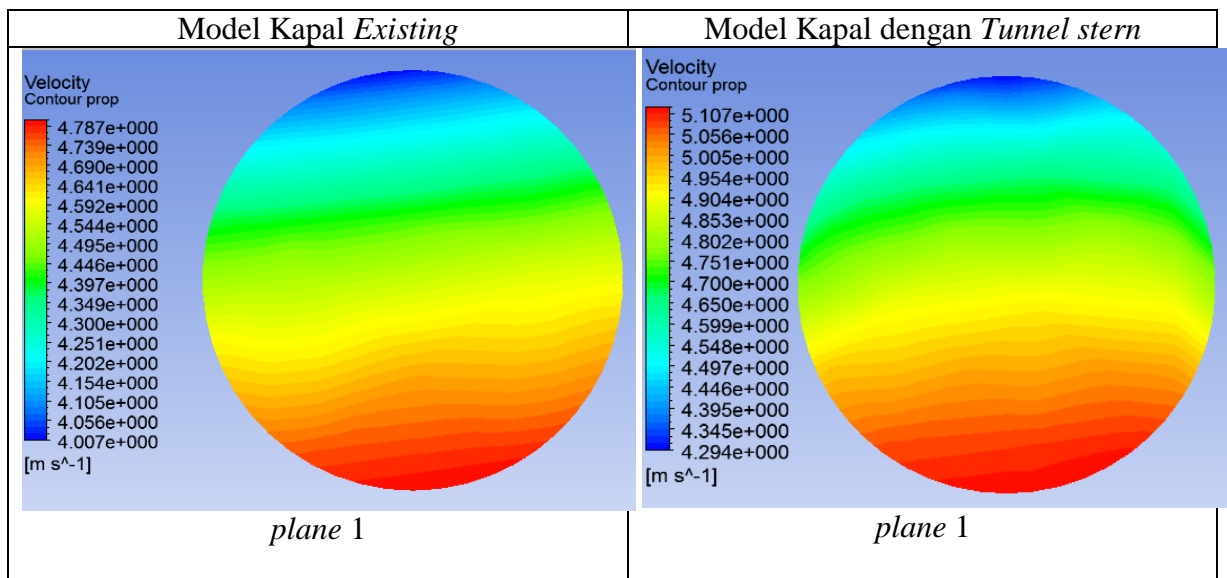


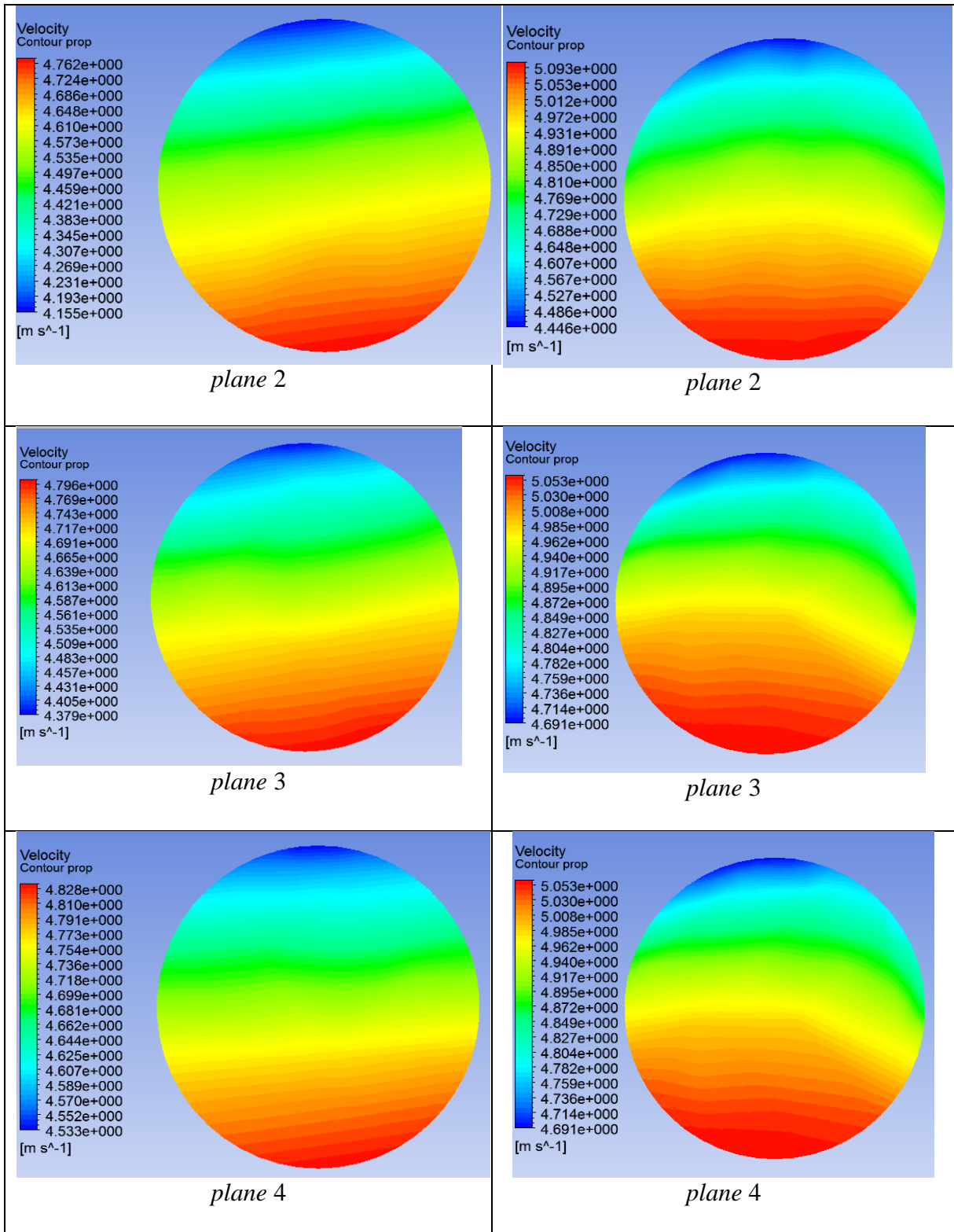
- Kecepatan Kapal (V_s) = 4.12 m/s



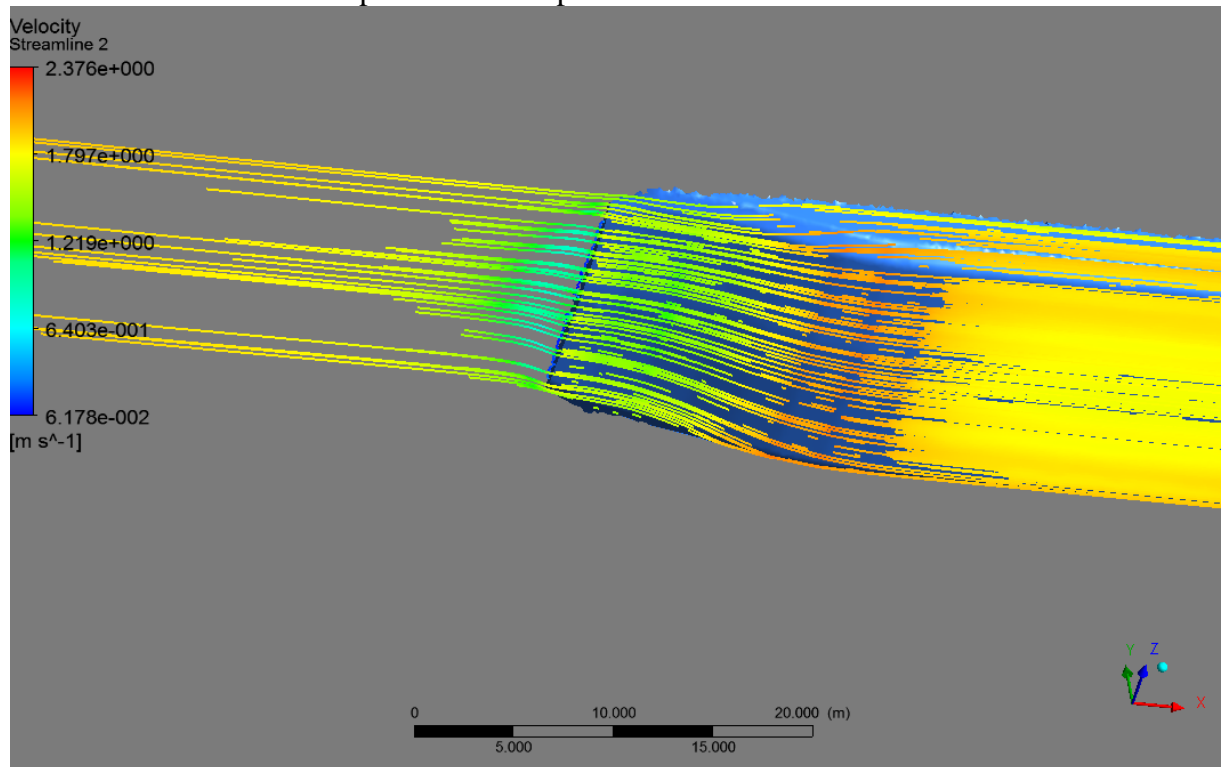


- Kecepatan Kapal (V_s) = 5.24 m/s

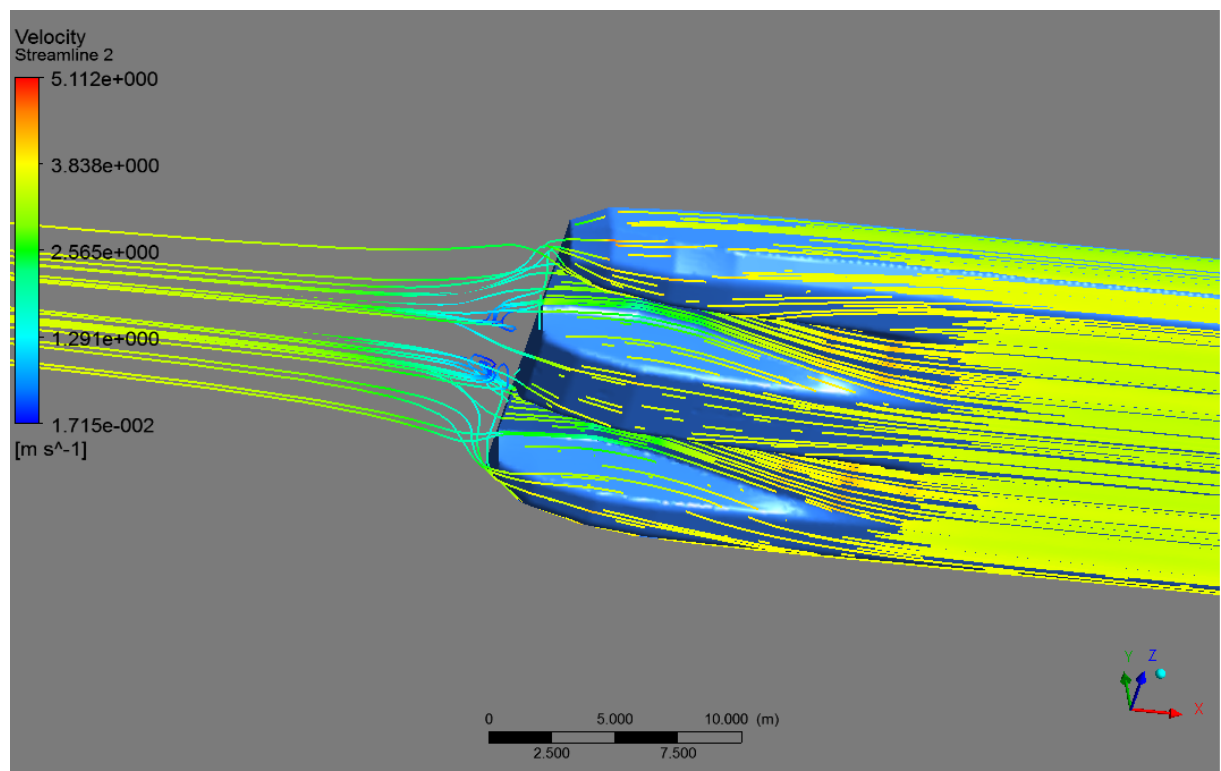




Gambar Visualisasi Aliran pada buritan kapal



Gambar Visualisasi aliran model kapal *existing*

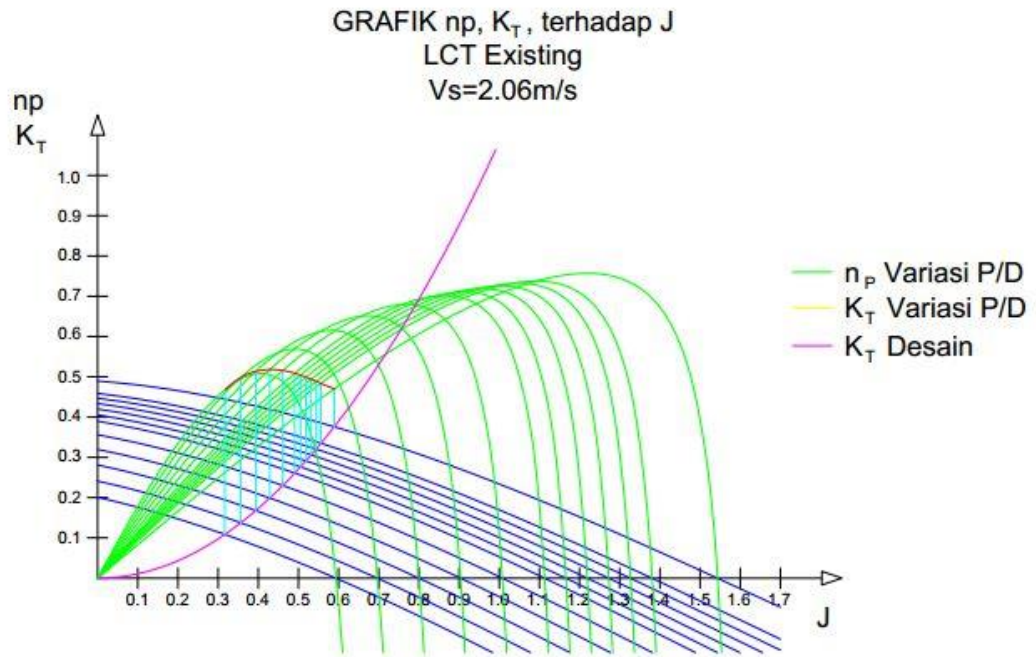


Gambar Visualisasi aliran model kapal dengan *tunnel stern*.

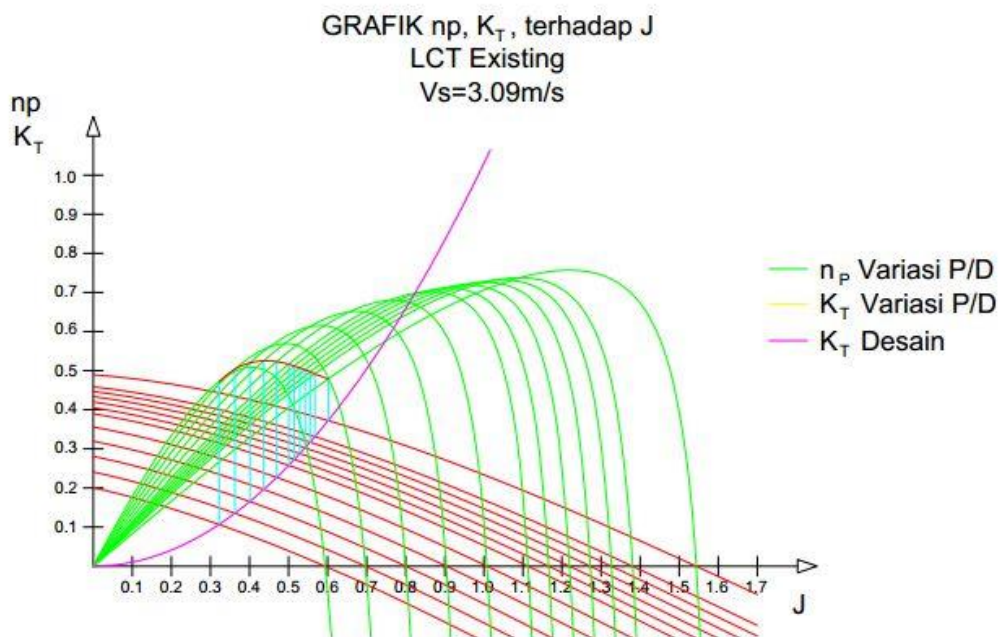
LAMPIRAN C

Gambar Kurva KT – KQ – J Model Kapal *Existing* dan Kapal dengan *Tunnel stern*

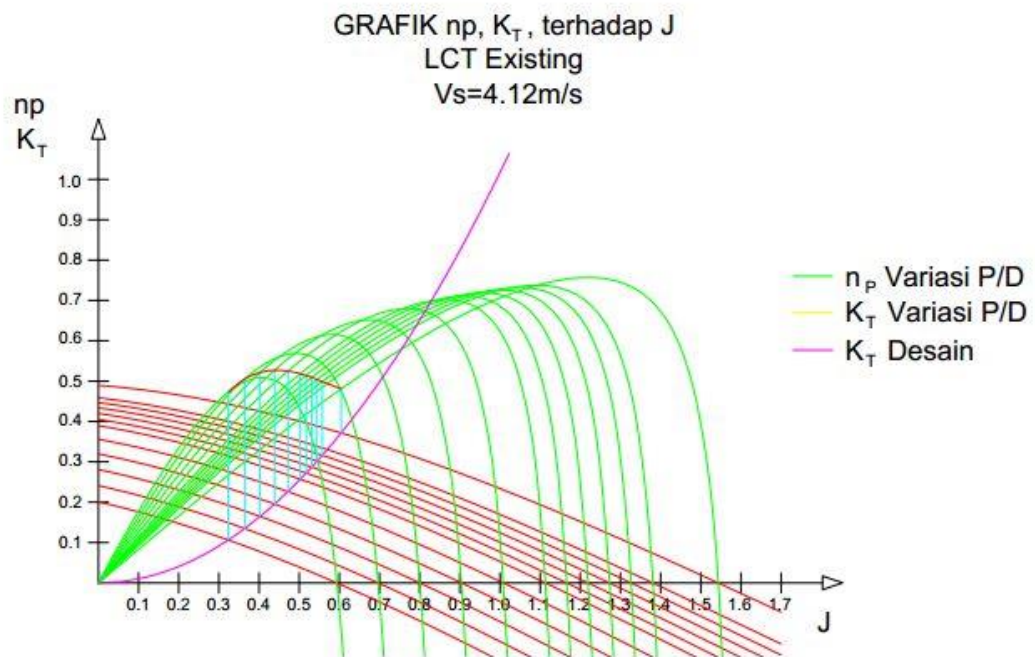
•



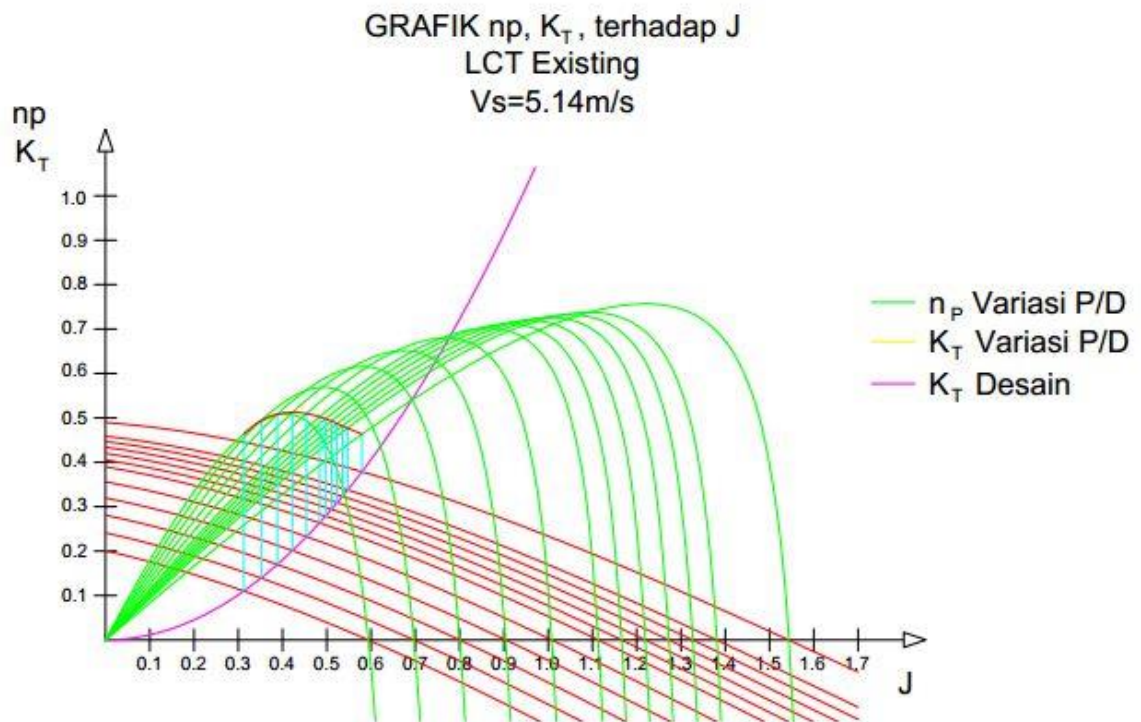
Kurva KT-KQ-J model kapal *existing* $V_s = 2.06 \text{ m/s}$



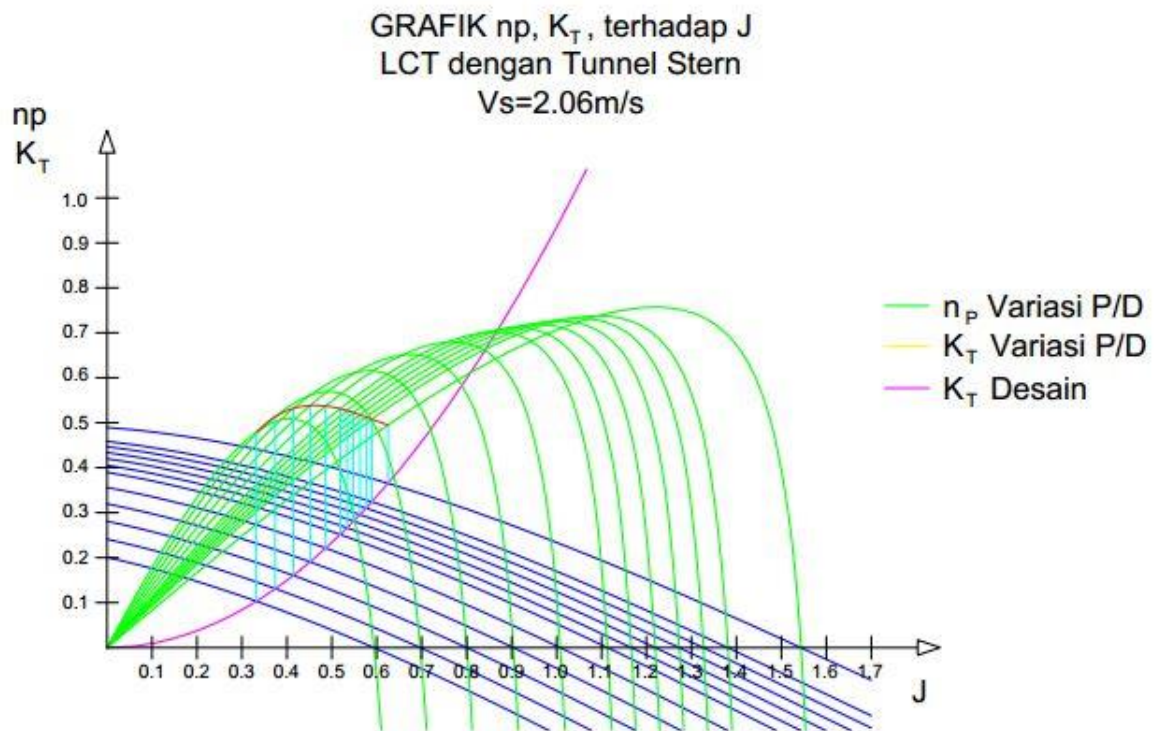
Kurva KT-KQ-J model kapal *existing* $V_s = 3.09 \text{ m/s}$



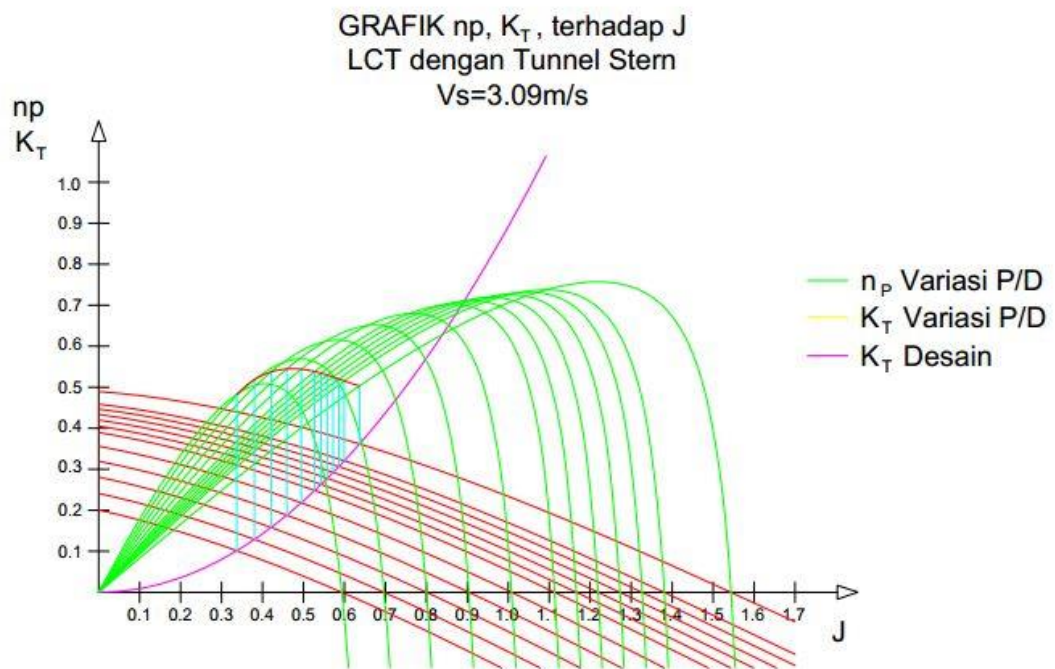
Kurva K_T - K_Q - J model kapal *existing* $V_s = 4.12 \text{ m/s}$



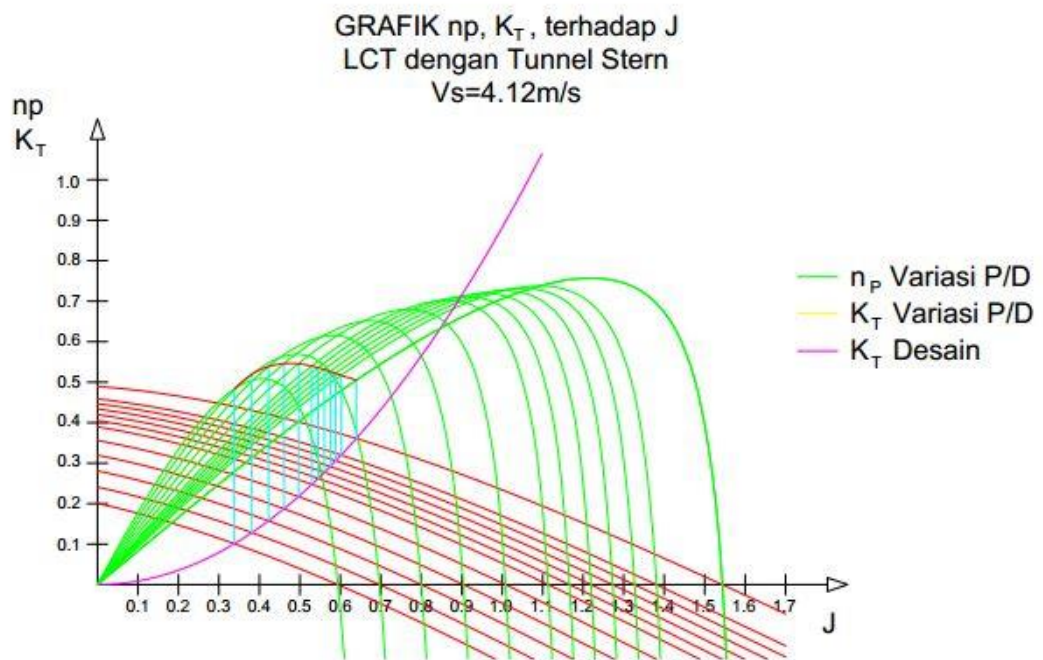
Kurva K_T - K_Q - J model kapal *existing* $V_s = 5.14 \text{ m/s}$



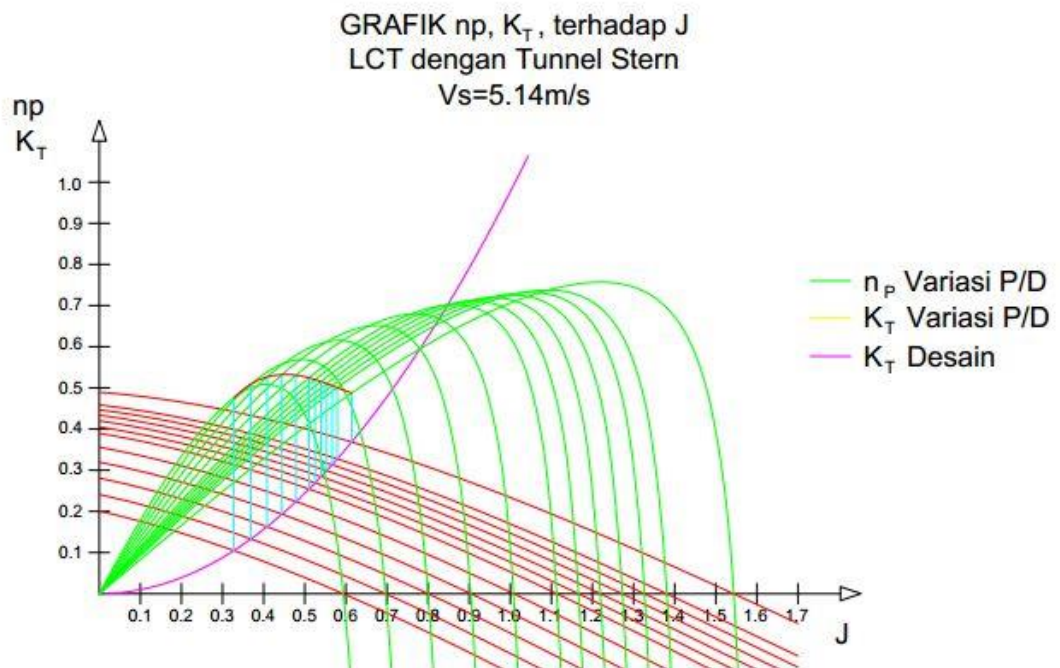
Kurva KT-KQ-J model kapal dengan *tunnel stern* $V_s = 2.06 \text{ m/s}$



Kurva KT-KQ-J model kapal dengan *tunnel stern* $V_s = 3.09 \text{ m/s}$



Kurva K_T - K_Q - J model kapal dengan *tunnel stern* $V_s = 4.12 \text{ m/s}$



Kurva K_T - K_Q - J model kapal dengan *tunnel stern* $V_s = 5.14 \text{ m/s}$

BIODATA PENULIS



Dilahirkan di Lamoongan pada 18 Februari 1992, penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar mulai Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Dasar di Desa Warungering, Kecamatan Kedungpring. Kemudian dilanjutkan di SMP N 1 Kedungpring, dan SMA N 1 Babat. Penulis sangat aktif di kegiatan ekstrakurikuler yang ada di Sekolah. Ketika menjalani pendidikan di SMA N 1 Babat, Penulis aktif di berbagai kegiatan, mulai jurnalistik, basket, dan pecinta alam. Di tahun kedua, Penulis menjadi Ketua Umum salah satu kegiatan ekstrakurikuler yang ada pada sekolah tersebut, yaitu Pecinta Alam Indrakila. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Jurusan Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2010 melalui jalur SNMPTN.

Di Jurusan Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, Penulis aktif berkegiatan di berbagai Unit Kegiatan Mahasiswa dan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL). Di HIMATEKPAL, Penulis diamanahi sebagai Ketua Departemen Minat dan Bakat pada kepengurusan periode 2012/2013. Penulis aktif menjadi pengurus dan *grader* klub Hydromodelling yang ada di bawah naungan Himpunan Mahasiswa Teknik Perkapalan (HIMATEKPAL).

Email: baharikap50@gmail.com